はじめに

本講座は，京大合格にむけて，実践的な解答力の強化を目指した講座です。

京都大学の生物は，知識問題と考察問題がバランスよく融合した良問ばかりです。その中でも，頻出単元である“遺伝子”をテーマとしたものを中心に，挑戦しておくべき問題を集めました。

京都大学の生物では，“リード文から設定を読み解く読解力”，“データから仮説を導く分析力”，“自分の考えを的確にまとめる表現力”が求められます。その中で特に重要なのが“分析力”になります。データのどの部分に注目するべきであったのか，その数字から何を読み取るべきであったのか。実際の問題に触れる中で，そのテクニックを磨いていきましょう。

テキストの問題は，あらかじめ予習の段階で一通り解いておきましょう。問題にはすでに目を通してある前提で解説を進めていきますので，問題が解けなかったときこそ問題文をもう一度熟読した上で，講義に入るようにしてください。

今，これを読んでいる君たちのほとんどは受験生であると思います。その受験生としての日々を，長く孤独な戦いであると感じている人もいるでしょう。しかし，これほど純粋でフェアな競争もそうはありません。これまでのことは関係なく，君の素養と努力が直接問われています。そのチャレンジしている自分，成長していく自分にワクワクしてください。この過程で得た苦労も喜びも全て君のものです。

君のその努力は，君の合格する確率を確実に上げてくれます。どうぞ，安心して力いっぱい励んでください。

牧島　央武

目　次

第１講　神経細胞の興奮⑴ …… p.4

第２講　神経細胞の興奮⑵・発生 …… p.12

第３講　染色体と遺伝 …… p.20

第４講　突然変異 …… p.24

第５講　遺伝子導入・グルコース輸送体 …… p.30

第６講　細胞増殖とタンパク質 …… p.38

第７講　光合成・バイオテクノロジー …… p.44

第８講　湖沼の生態系⑴ …… p.50

第９講　湖沼の生態系⑵ …… p.56

第10講　自家不和合・血縁淘汰 …… p.60

第１講　神経細胞の興奮(1)

(A)　神経細胞は細胞体と，そこから伸びる多数の突起からなり，枝分かれした短い突起を樹状突起,長く伸びた突起を軸索という。神経伝達は細胞体で起こった興奮が軸索を伝わり，シナプスを介し次の神経細胞に伝えられることで起こる。神経細胞には，細胞の外側と内側で電位差があり，刺激を受けていない時は，電位は内側の方が外側に比べて低くなっている。この電位差を静止電位という。神経細胞に刺激が加えられると，刺激された部位で細胞膜の内側と外側の電位が瞬間的に逆転する。この時の電位変化を活動電位といい，このような活動電位の発生は，神経細胞の興奮とよばれる。

問１　細胞外液の Na^+ 濃度が静止電位および活動電位に及ぼす影響について，マウスの神経細胞を使用して解析したところ，細胞外液の Na^+ 濃度を正常値の 100%，50%，33%となるようにした場合，細胞膜の電位が**図１**に示すように変化した。この図を参考にして，キンギョの神経細胞の細胞外液の Na^+ 濃度を変化させ，神経細胞の静止電位および活動電位を測定した場合，結果を示すグラフとして最も適切なものを，次の①～⑥から１つ選べ。なお，グラフの各点は，膜電位の最高値を示している。
＊細胞外液を変化させた際，浸透圧は変化しないように調節してある。

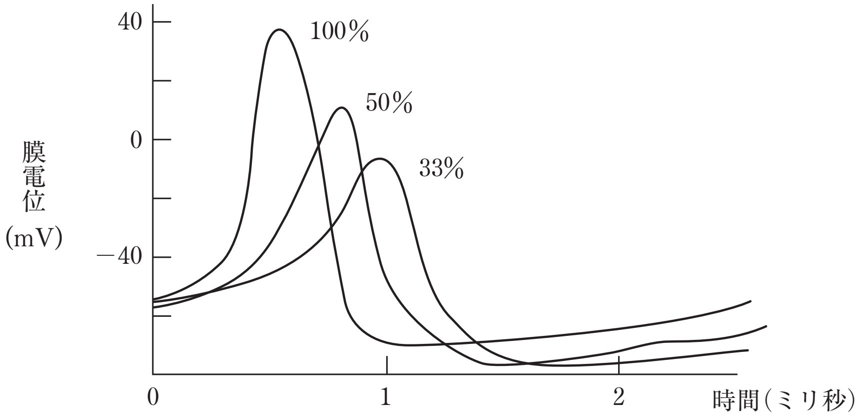
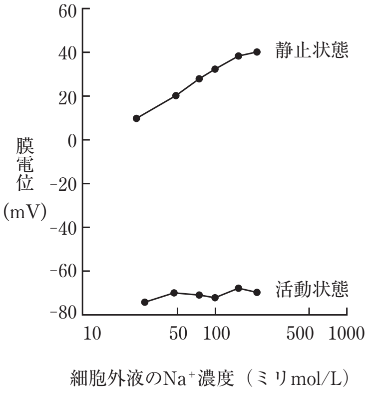
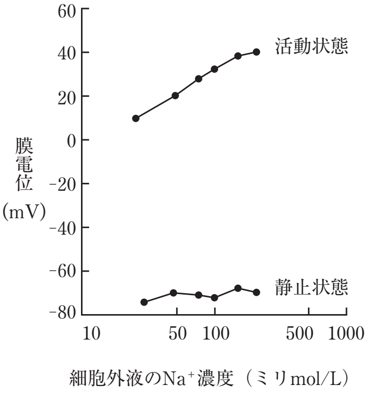
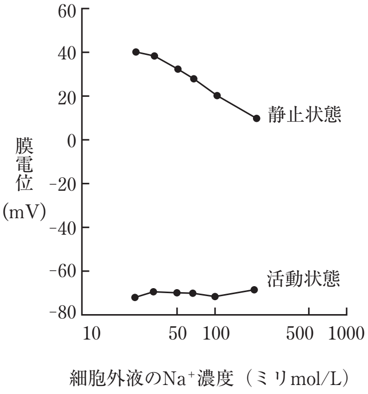
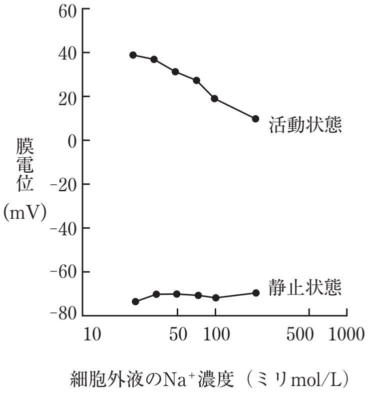


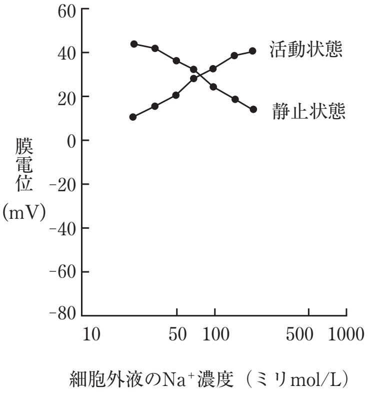
図１

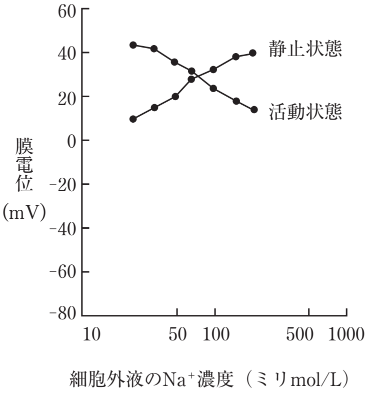
①

静止状態
活動状態
膜電位(mV)
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
10
50
100
500
1000
細胞外液のNa⁺濃度（ミリmol/L）

②

活動状態
静止状態
膜電位(mV)
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
10
50
100
500
1000
細胞外液のNa⁺濃度（ミリmol/L）

③

静止状態
活動状態
膜電位(mV)
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
10
50
100
500
1000
細胞外液のNa⁺濃度（ミリmol/L）

④

活動状態
静止状態
膜電位(mV)
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
10
50
100
500
1000
細胞外液のNa⁺濃度（ミリmol/L）

⑤

活動状態
静止状態
膜電位(mV)
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
10
50
100
500
1000
細胞外液のNa⁺濃度（ミリmol/L）

⑥

静止状態
活動状態
膜電位(mV)
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
10
50
100
500
1000
細胞外液のNa⁺濃度（ミリmol/L）

問２　神経細胞の静止電位は，各種イオンの神経細胞内外の濃度比と細胞膜におけるイオン透過性により決定される。イオン(X)を透過させるイオンチャネルにおいて，イオンの移動が見かけ上停止する電位は平衡電位と呼ばれ，次の式で表すことができる。

$$E_x(\mathrm{mV}) = 58\log_{10}\frac{[X]_o}{[X]_i}$$

E_x：平衡電位

$[X]_o$：細胞外のイオン濃度 (ミリmol/L)，$[X]_i$：細胞内のイオン濃度(ミリmol/L)

表１にはキンギョの神経細胞における細胞内外のイオン濃度を示している。

この表をもとにキンギョの神経細胞の静止電位を計算した場合，何 mV となるか。最適なものを，次の①～⑧から１つ選べ。ただし，キンギョ神経細胞の細胞膜には Na チャネルと K チャネルが存在し，静止状態の細胞膜は K^+ をほぼ選択的に透過させていると仮定する。

なお，計算に必要ならば $\log_{10}3 = 0.48$，$\log_{10}5 = 0.70$ を使用せよ。

表１

イオン	細胞内イオン濃度(ミリmol/L)	細胞外イオン濃度(ミリmol/L)
Na^+	10	150
K^+	120	4

①　52mV　②　−52mV　③　68mV　④　−68mV

⑤　75mV　⑥　−75mV　⑦　86mV　⑧　−86mV

〈2010 年度　北里大学〉

(B)　哺乳類の神経細胞は，核のある［ア］，他の神経細胞からの情報を受け取る［イ］ならびに，電気信号を伝達する［ウ］からなる。有髄神経の場合，［ウ］は絶縁性の高い［エ］に取り巻かれており，伝導速度が極めて速い。この［エ］の切れ目を［オ］といい，速い伝導を［カ］伝導と呼ぶ。神経細胞内の電位は，通常 −60mV 程度の負に維持されており，この興奮していない状態の電位を［キ］という。神経細胞は他の神経細胞や筋肉などの効果器と接合し，この接合部を［ク］と呼ぶ。［ク］の興奮を伝達する側には，神経伝達物質を中に含む［ケ］があり，刺激を受けて神経伝達物質を放出する。放出された神経伝達物質は［コ］に結合し，情報を伝達する。

問３　文中の［ア］～［コ］に適切な語句を記入せよ。

問４　有髄神経細胞が興奮したとき，［ア］で発生した活動電位は，一方向性を保って［ウ］内を伝達される。その理由を解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問５　神経細胞内の Na^+ 濃度は細胞外より低く，K^+ 濃度は細胞外より高いため，興奮により膜電位が閾(いき)値を超えると，細胞内への Na^+ の一過的な透過性上昇と，細胞外への K^+ の一過的な透過性上昇による電位変化が生じる(**図２**)。では，神経細胞を(a)〜(d)の条件においた場合，それぞれどのような電位変化を示すか，**図３**の(あ)〜(く)の中から最も適切なものを１つ選べ。ただし，Na^+ の細胞外濃度は 0.150 mol/L，細胞内濃度は 0.005 mol/L，K^+ の細胞外濃度は 0.003 mol/L，細胞内濃度は 0.140 mol/L であるとする。また，実験にあたり，細胞外の浸透圧が細胞内と同じになるよう，必要に応じてスクロース (ショ糖)を細胞外液に添加した。

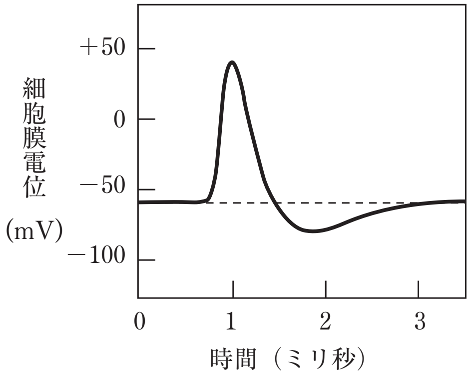


図２

(a)　細胞外の Na^+ 濃度を細胞内と同じ濃度にして，神経細胞を刺激した場合。

(b)　細胞外の K^+ 濃度を 0 mol/L にして，神経細胞を刺激した場合。

(c)　Na^+ の透過性を阻害するフグ毒を加えた状態で，神経細胞を刺激した場合。

(d)　K^+ の透過性を阻害するテトラエチルアンモニウム(TEA)を加えた状態で，神経細胞を刺激した場合。

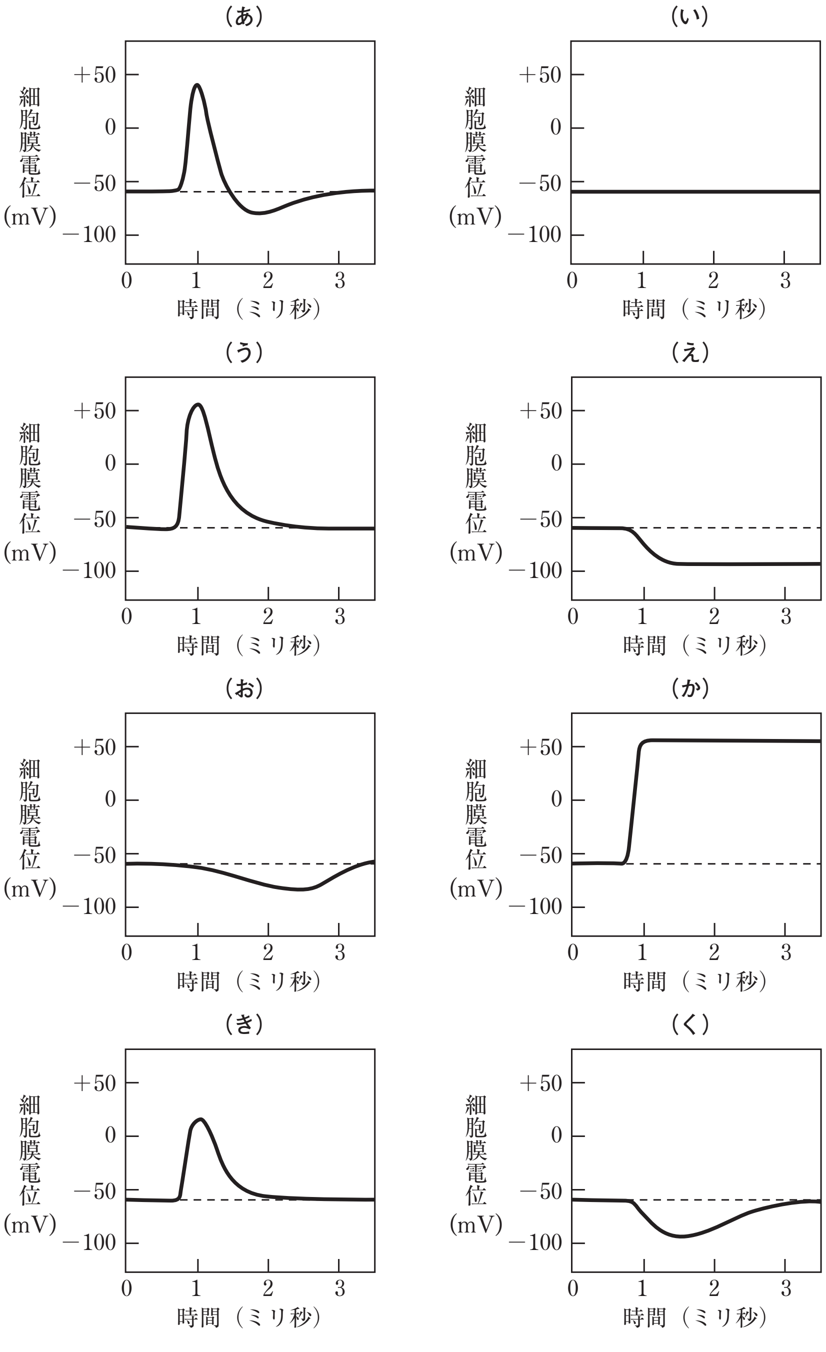


図３

問６　Na^+ と K^+ の透過性は，それぞれのイオンの濃度勾配により流れようとする力と，細胞内外の電位差のバランスで決まる。濃度勾配と電位差が釣り合い，イオンの透過が消失する電位を平衡電位という。Na^+ の平衡電位は +55mV で，K^+ の平衡電位は −95mV である。さて，神経細胞内に挿入した電極を用いて細胞膜電位を強制的に特定の値に維持する電位固定法を使用して，神経細胞の活動電位発生時に生ずる Na^+ と K^+ の透過性の増加に基づく電流の変化を観察した。(e)〜(j)の条件で神経細胞の膜電位を固定したときに観察される電流に関して，**図４**の(け)〜(た)の中から最も適切なものをそれぞれ１つ選べ。ただし，陽イオンの細胞内への流れを内向き電流，細胞外への流れを外向き電流とする。

(e)　膜電位を 0mV に固定した場合。
(f)　フグ毒を加えた状態で，膜電位を 0mV に固定した場合。
(g)　TEA を加えた状態で，膜電位を 0mV に固定した場合。
(h)　フグ毒と TEA の両方を加えた状態で，膜電位を 0mV に固定した場合。
(i)　膜電位を +55mV に固定した場合。
(j)　膜電位を −95mV に固定した場合。

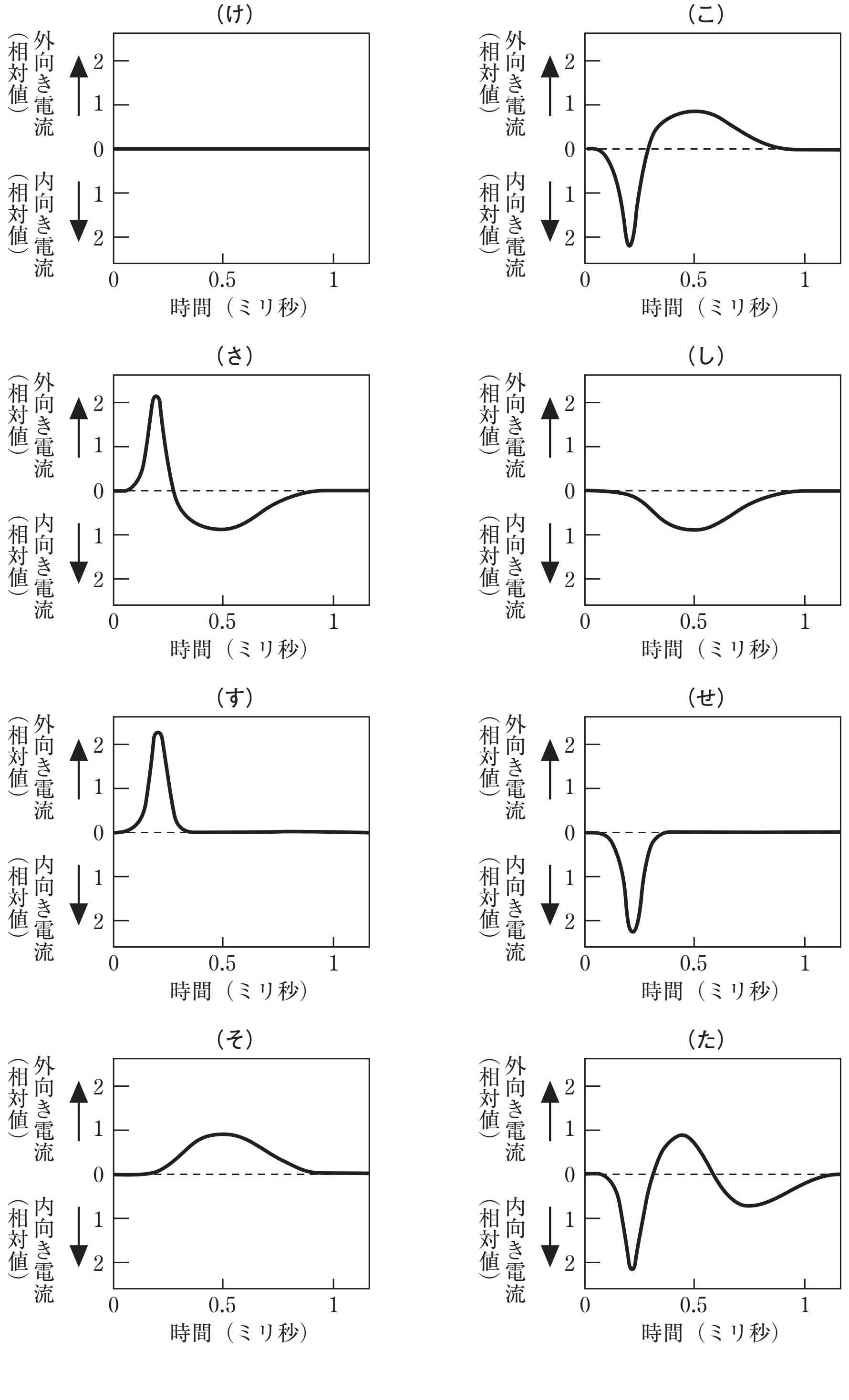


図４

第２講　神経細胞の興奮(2)・発生

(A)　神経細胞(ニューロン)は特徴的な形状をもっている。神経細胞の細胞体からは，ふつう１本の軸索と多数の樹状突起が突き出ている。通常，神経細胞の細胞内の電位は，細胞外の電位より60～90mV低くなっている。この状態の電位を静止電位という。細胞に与える刺激を徐々に強くしていくと，ある強さに達したときに細胞内外の電位差の正負が逆転し，速やかに元に戻る。このような電位変化を活動電位という。①活動電位は Na^+ が流入することにより発生するが，Na^+ の流入の駆動力は細胞内外の Na^+ の濃度差である。

問１　下線部①について，Na^+ の濃度差の発生と細胞内への流入には，チャネルとポンプが関与している。この２つのタンパク質のはたらきの違いについて，解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問２　ある種の微生物は，チャネルロドプシンとよばれる光刺激で開くチャネルをもっている。チャネルロドプシンにはいくつかの種類があり，Na^+ を透過するものや Cl^- を透過するものが知られている。Na^+ を透過するチャネルロドプシンの遺伝子を神経細胞に導入して発現させると，光刺激で神経細胞を興奮させることができるようになる。この神経細胞を同じ強度で波長が異なる光を照射して刺激し，活動電位の大きさを測定したところ，**図１**のようになった。また，このチャネルロドプシンの波長ごとの吸光度を測定したところ，**図２**のようになった。２つのグラフの形が一致しない理由を，解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

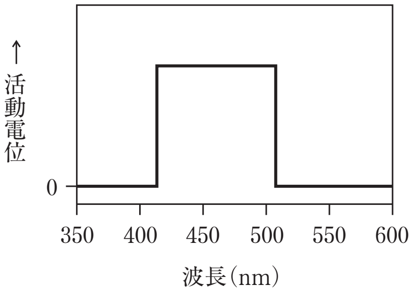


図１

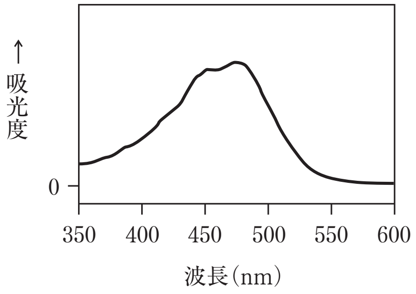


図２

問３　光刺激によって細胞内にCl^-を流入させるチャネルロドプシンを神経細胞で発現させた。この神経細胞を暗黒下で電気的に刺激すると，**図３**のように，細胞内の電位が $-V_1$ から V_2 に変化するような活動電位が発生した。これと同じ強さの電気刺激を与えながらさまざまな強さの光刺激を与えた場合，この細胞はどのような応答を示すと考えられるか，可能性のあるものを**図４**の(あ)～(か)からすべて選べ。ただし，光刺激による $-V_1$ の変化は考慮しないものとする。

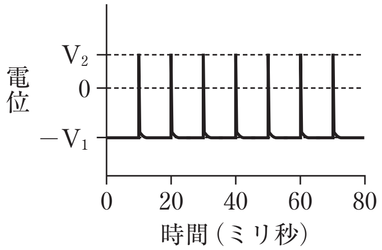


図３

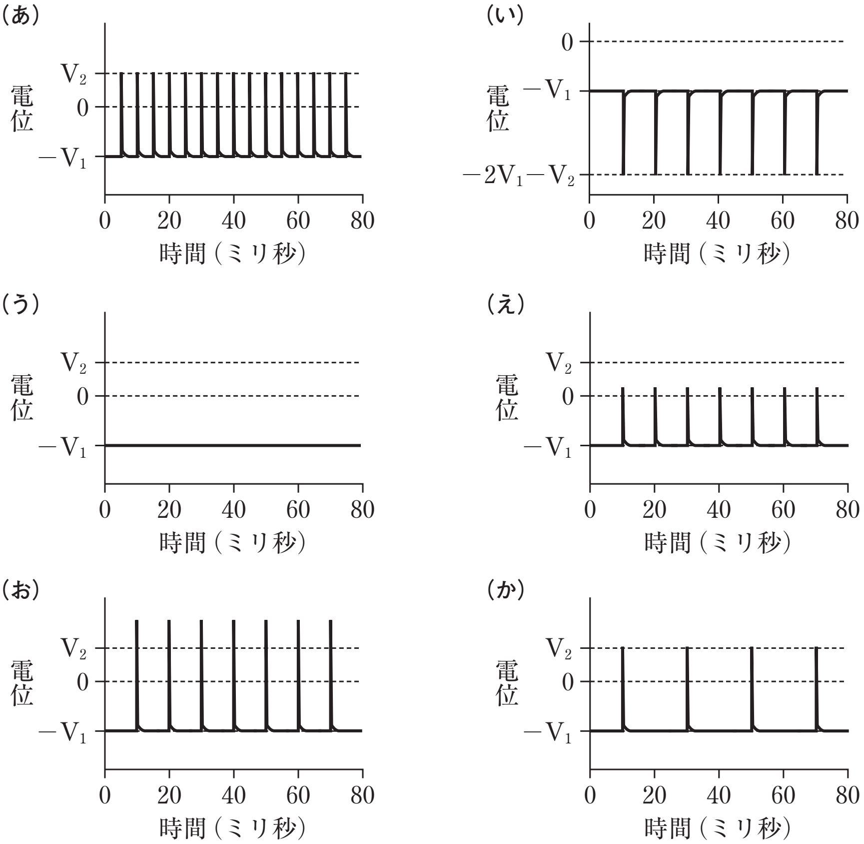


図４

(B)　アフリカツメガエルの未受精卵は，動物極側と植物極側とでは構成成分に明確な差があるが，動物極と植物極とを結ぶ軸を中心とする回転対称体であり，将来の背腹の方向性は決まっていない。精子が卵に進入することによりこの対称性が崩され，将来の背腹を決める極性が生じることになる。

正常発生を詳細に調べてみると(**図５のＡ**)，受精後 10 ～ 15 分頃に，卵細胞膜と受精膜の間に間隙が生じ，卵は受精膜の中で比重の大きな植物極側が下になるように回転する。同じ頃，卵の内部細胞質に流動性が生じる。そのため，これ以降は卵を傾けると内部細胞質は重力によって卵内で移動するようになる。

その後，第一卵割開始までの間に，卵細胞膜を含む表層細胞質と内部細胞質との間で中心角にして約 30 度のずれ(表層回転)が起こる。これにより植物半球では表層細胞質は精子進入側とは反対方向に移動する(**図５のＡ**の黒い太矢印)。初期原腸胚期になると，植物極付近の表層細胞質が移動した方向に原口が生じ，この側に，①背側中軸構造が形成されるため，通常は精子進入点の反対側が胚の背側となる。

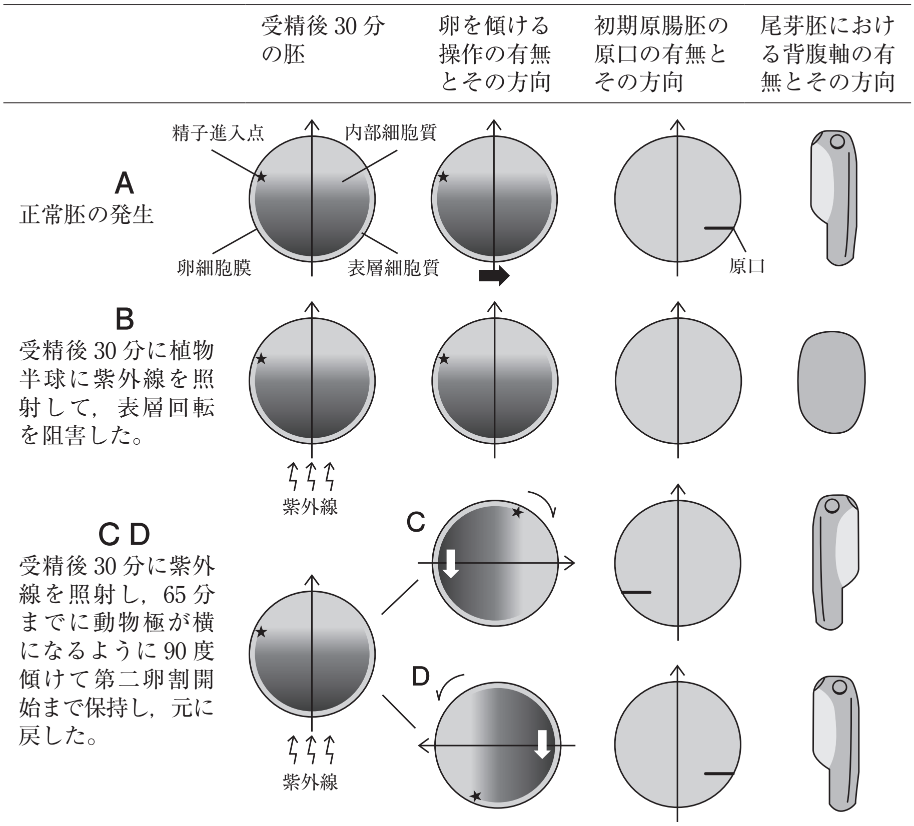
問４　下線部①の背側中軸構造について以下の問いに答えよ。

ａ．最も基本的な背側中軸構造の名称を２つ挙げよ。

ｂ．尾芽胚胴部横断面の全体の概略図を描け。さらに，ａで挙げた２つの組織の位置を図中に示せ。

アフリカツメガエル卵の発生速度は温度により異なるが，水温20℃では，受精から第一卵割開始までの時間は100分である。この温度条件下で以下の実験１と実験２を行った。

実験１：受精後30分に卵の植物半球へ紫外線を照射して表層回転を阻害すると，胚は背側中軸構造を作ることができなくなり，腹側の特徴をもった丸い細胞塊になった(図５のＢ)。ところが紫外線照射で表層回転を阻害した胚を受精後65分までに動物極が横になるように90度傾け，第二卵割開始時まで保持して元に戻すと，胚は背側中軸構造をもった正常な形態の胚に発生することができるようになった。この実験では，精子進入点の位置に関わらず，傾けた時に上になっていた側が常に背側になった(図５のＣＤ)。

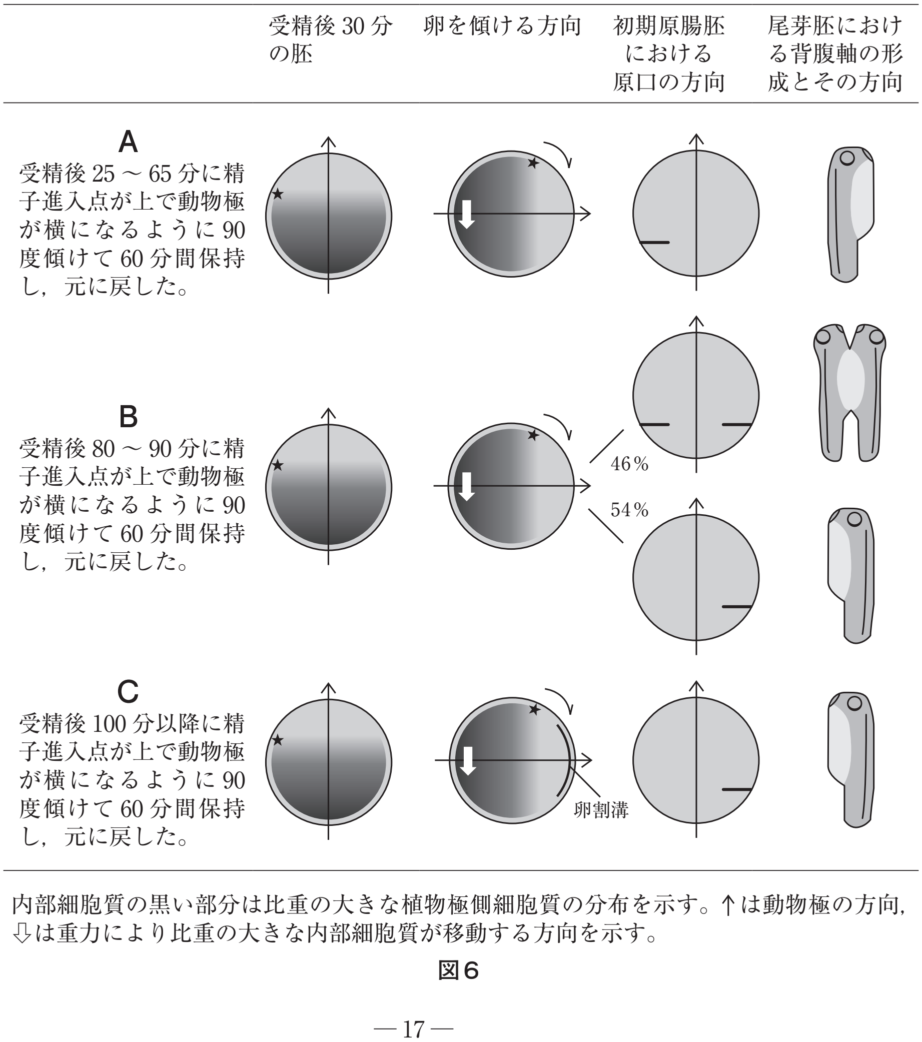


内部細胞質の黒い部分は比重の大きな植物極側細胞質の分布を示す。↑は動物極の方向，➡は正常胚における表層細胞質のずれの方向，⇩は重力により比重の大きな内部細胞質が移動する方向を示す。

図５

問５　実験１の結果から明らかになった背側中軸構造の形成に必要な条件を記せ。

実験２：正常な受精卵を，受精後さまざまな時間に動物極が横で精子進入点が上になるように90度傾けて60分間保持した後に元に戻した。受精後25～65分に傾ける操作を開始した場合には，背側中軸構造が精子進入側にでき，背腹軸の逆転が起こった(**図６のA**)。しかし受精後65分以降に傾ける操作を開始すると，背腹軸逆転の効果は時間の経過と共に減少した。第一卵割が開始し卵割溝が形成された受精後100分以降には，卵を傾けても背腹の極性への影響がなくなり，正常胚と同様に精子進入点の反対側が背側になった(**図６のC**)。ところが，第一卵割直前の②受精後80～90分に傾ける操作を開始したものでは，約半数の胚で精子進入点の反対側が背側となり，残りの約半数の胚は双軸胚となった(**図６のB**)。



内部細胞質の黒い部分は比重の大きな植物極側細胞質の分布を示す。↑は動物極の方向，⇩は重力により比重の大きな内部細胞質が移動する方向を示す。

図６

問６　背腹軸の方向の決定に関して，実験２の結果から明らかになったことを記せ。

問７　下線部②で胚軸が２本生じた理由について考察せよ。

問８　原口および背側中軸構造の形成に関する以下のａ～ｄの記述から適切なものを全て選べ。

ａ．精子進入点は将来の背腹軸性を予測するための目安にはなるが，確実な背腹軸性のマーカーにはならない。

ｂ．卵を傾ける実験を行うと，必ず内部細胞質が移動した側とは反対の側に背側中軸構造ができる。

ｃ．**図６**のＢの実験をより低い水温である17℃で行うと，精子進入点の反対側が背側になる胚の割合が増える。

ｄ．正常発生において将来原口ができる方向は，第一卵割が終了した段階で，すでに決まっている。

＜ Note ＞

第３講　染色体と遺伝

(A)　家畜用のウシでは，ある１頭の父ウシの精子を複数の異なる母ウシの卵に人工的に受精させ，異母兄弟姉妹の関係にある複数の子ウシを生産していく交配様式が利用されている。このような交配様式を用いて，さまざまな形質の原因となる遺伝子の染色体上の位置を調べることができる。

ある遺伝病Ｘの原因遺伝子は単一であり，ウシの第１番染色体（常染色体）上にある。この遺伝病Ｘ原因遺伝子のウシ第１番染色体上での位置を決めるために，**図１**の家系を用いることとした。**図１**では，祖父母，親，子の３世代が示されており，□と■はオスを，○と●はメスを示している。図形を結ぶ線は，どのような個体間のかけ合わせでどの個体が生まれたかを示している。たとえば，父ウシと母ウシ１のかけ合わせで子ウシ１が生まれたことになる。また，この家系のｎ頭の子ウシは，ｎ頭の母ウシから１頭ずつ生まれた子であり，ｎ頭の母ウシも，ｎ頭の母方祖母ウシから１頭ずつ生まれた子であった。この家系では，子ウシの世代において遺伝病Ｘを発症した個体（■または●）が高い頻度で見られた。父母ウシ，祖父母ウシのすべてが遺伝病Ｘを発症しなかったことから，遺伝病Ｘは［ア］形質であり，父ウシは遺伝病Ｘ原因遺伝子について［イ］の対立遺伝子と［ア］の対立遺伝子の両方をもつ［ウ］接合体であることがわかる。一方，遺伝病Ｘを発症した子ウシは，［ア］の対立遺伝子の［エ］接合体であることがわかる。

なお，①<u>**図１**の家系の子ウシ世代で発症した遺伝病Ｘは，すべて祖父ウシ由来の対立遺伝子に起因しており，どの祖母ウシも遺伝病Ｘを引き起こす対立遺伝子をもっていなかった</u>。

問１　文(A)中の［ア］～［エ］に適切な語を記入せよ。

問２　下線部①にもとづき，**図１**の家系において子ウシが遺伝病Ｘを発症する確率を記せ。なお，**図１**に示された発症個体の割合は，必ずしも遺伝病Ｘを発症する確率を反映していない。

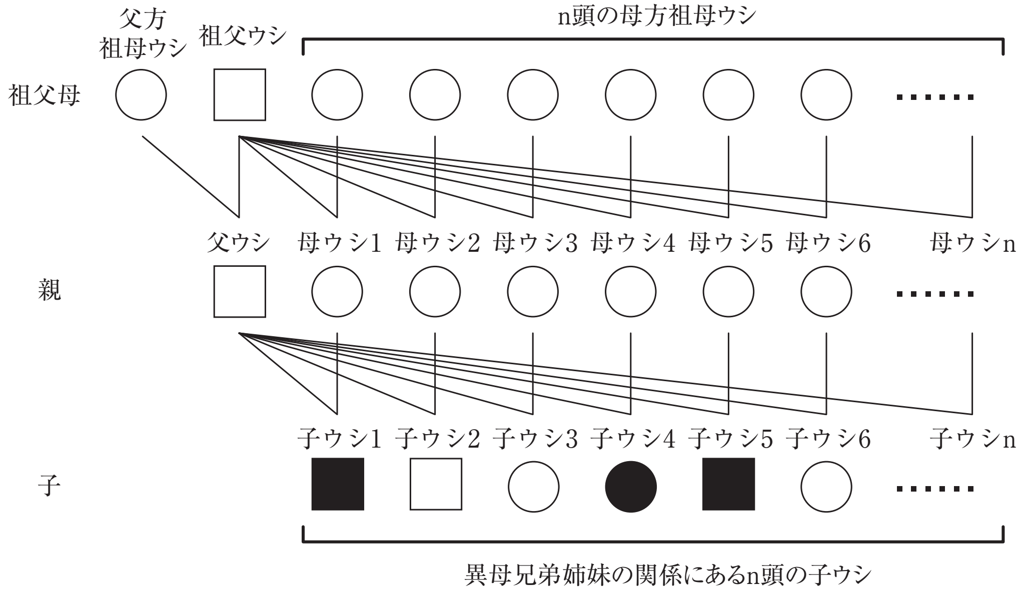


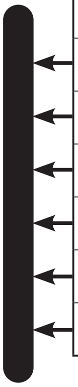
図１

(B)　同一の種内でも遺伝子の DNA 塩基配列がわずかに異なる部分があり，これを利用すれば，それぞれの個体がどの種類（タイプ）の対立遺伝子をもつかを見分けられる。このような遺伝子をマーカー遺伝子（マーカー）として利用することで，相同染色体間での交さによる乗換えを調べることができる。

表１は，**図１**の家系の個体ごとに，第１番染色体上のマーカー遺伝子 A ～ F のタイプを調べた結果の一部（父ウシと子ウシ１～６）であり，縦１列が１頭の個体に対応する。**表１**の左に示すように，マーカー遺伝子 A ～ F はウシ第１番染色体上で A−B−C−D−E−F の順に並んでいる。これらの個体では，マーカー遺伝子 A ～ F のいずれについても３つのタイプ（A1 ～ A3 など）が見分けられた。たとえば，父ウシではマーカー遺伝子 A について A1 と A2 のタイプの両方が見られた（**表１**では小さい数字のものが左になるように示されている）。②遺伝病 X を引き起こす対立遺伝子とその近傍のマーカー遺伝子は，同じ組み合わせで親から子へ伝達される可能性が高い。こうして，**図１**の家系でのマーカー遺伝子 A ～ F の伝達を追跡することで，遺伝病 X 原因遺伝子のウシ第１番染色体上での位置を調べることができる。

表１　遺伝病 X 発症と第１番染色体マーカー遺伝子のタイプ

個体	父ウシ	子ウシ 1	子ウシ 2	子ウシ 3	子ウシ 4	子ウシ 5	子ウシ 6
遺伝病 X	非発症	発症	非発症	非発症	発症	発症	非発症
マーカー A	A1, A2	A2, A3	A1, A1	A1, A1	A1, A3	A1, A3	A1, A1
マーカー B	B1, B2	B2, B3	B1, B3	B1, B3	B1, B1	B1, B3	B2, B2
マーカー C	C1, C2	C2, C2	C2, C3	C2, C2	C2, C2	C2, C3	C1, C3
マーカー D	D1, D2	D1, D1	D1, D1	D2, D3	D1, D1	D1, D3	D2, D3
マーカー E	E1, E2	E2, E2	E1, E3	E1, E3	E2, E2	E2, E2	E1, E1
マーカー F	F1, F2	F1, F1	F2, F2	F2, F2	F2, F2	F1, F1	F2, F3



ウシの
第１番染色体

問３　**表２**は，子ウシ１～６における父ウシ由来の染色体上のマーカー遺伝子Ａのタイプを示す。**オ～コ**に，タイプを表すA1～A3のいずれかを記入せよ。

表２　マーカー遺伝子Aのタイプ

子ウシ１	子ウシ２	子ウシ３	子ウシ４	子ウシ５	子ウシ６
オ	**カ**	**キ**	**ク**	**ケ**	**コ**

問４　問３と同様に父ウシ由来のマーカー遺伝子Ｂ～Ｆのタイプを明らかにすると，父ウシにおける２つの相同染色体のそれぞれ（相同染色体P, Qとする）について，マーカーＡ～Ｆのタイプがどのようになっていたかが**図２**に示すように予想できる。**図２**の **サ** ～ **ツ** に，マーカー遺伝子Ｂ，Ｃ，Ｅ，Ｆのタイプを記入せよ。

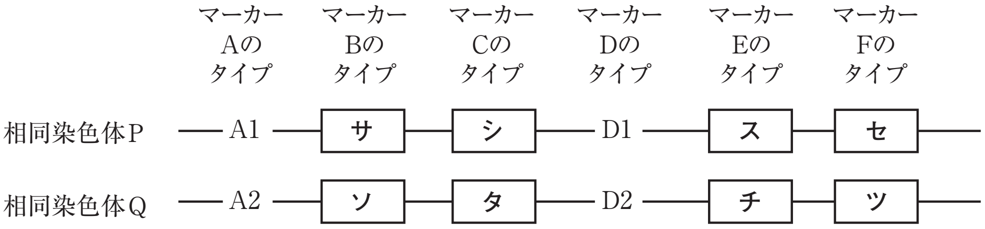


図２

問５　**表１**のデータをもとに，子ウシ１～６がもつ父ウシ由来の染色体に注目して，マーカー遺伝子Ｂとマーカー遺伝子Ｄとの間の組換え価を求めよ。ただし，答えは有効数字２けたで記せ。

問６　下線部②について，遺伝病Ｘ原因遺伝子は，**表１**のマーカー遺伝子Ａ～Ｆのどれと完全に連鎖しているか，マーカー遺伝子の記号を選べ。遺伝病Ｘを引き起こす対立遺伝子は，**図２**の相同染色体ＰとＱのどちらに存在していたと予想されるか，相同染色体の記号を選べ。また，解答した理由を，解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

第４講　突然変異

(A)　DNA に突然変異を誘発する化学物質 Q をショウジョウバエに与えたのち，その子孫に現れる表現型や, その表現型の原因となる遺伝子を以下のように解析した。まず, 雄のショウジョウバエ成虫に化学物質 Q を与えた後, 野生型の雌と交配させて多数の子（第一世代）を得た。これら第一世代それぞれを野生型と交配させ，次世代（第二世代）を得た。さらに，親が同じである第二世代どうしを交配させ，その次の世代（第三世代）を得た。各世代のショウジョウバエ個体を，羽に注目して解析したところ，第一世代で羽の一部が欠けていた個体が見つかった。一方，第一世代，第二世代では正常な羽であったが，第三世代で羽のサイズが極端に大きくなる個体が出現する系統が見つかった。

問１　化学物質 Q を与えた個体ではなく，その子孫に羽の異常の表現型が現れたのはなぜか。「体細胞」「生殖細胞」という言葉を用いて，解答欄の枠の範囲内で記せ。

問２　いずれの系統でも第二世代で初めて表現型が現れることはなかった。表現型が初めて現れる世代が第一世代か第三世代かに別れた理由を，解答欄の枠の範囲内で記せ。

問３　化学物質Ｑは，DNA を構成する塩基の１つであるグアニンに結合してその性質を変化させる。化学物質Ｑが結合したグアニンは，シトシンではなくチミンと塩基対を形成する。羽のサイズが極端に大きくなった個体の DNA を解析した結果，遺伝子 Y 上の１つの塩基が変化する突然変異が起こり，遺伝子 Y から作られるタンパク質の後半部分が欠損し，機能がなくなっていた。この突然変異はどのアミノ酸をコードする配列上に起きていたと考えられるか。**表１**の遺伝暗号表を参考にしながら，可能性のあるアミノ酸のうち１つを選び, その理由を解答欄の枠の範囲内で記せ。ただし，突然変異は全ゲノム中に１カ所だけ起こったものとする。

表１

コドンの1番目の塩基	コドンの２番目の塩基 U	C	A	G	コドンの3番目の塩基
U	UUU フェニルアラニン	UCU セリン	UAU チロシン	UGU システイン	U
	UUC	UCC	UAC	UGC	C
	UUA ロイシン	UCA	UAA 終止	UGA 終止	A
	UUG	UCG	UAG	UGG トリプトファン	G
C	CUU ロイシン	CCU プロリン	CAU ヒスチジン	CGU アルギニン	U
	CUC	CCC	CAC	CGC	C
	CUA	CCA	CAA グルタミン	CGA	A
	CUG	CCG	CAG	CGG	G
A	AUU イソロイシン	ACU トレオニン	AAU アスパラギン	AGU セリン	U
	AUC	ACC	AAC	AGC	C
	AUA	ACA	AAA リシン	AGA アルギニン	A
	AUG メチオニン	ACG	AAG	AGG	G
G	GUU バリン	GCU アラニン	GAU アスパラギン酸	GGU グリシン	U
	GUC	GCC	GAC	GGC	C
	GUA	GCA	GAA グルタミン酸	GGA	A
	GUG	GCG	GAG	GGG	G

(B)　同種内の同一遺伝子座でも DNA 塩基配列がわずかに異なる部分があり，これを利用すれば，それぞれの個体がもつ対立遺伝子の組み合わせ（遺伝子型）を知ることができる。また，このような遺伝子をマーカー遺伝子として利用することで，相同染色体間の乗換えについて調べることができる。

図１は，黄色マウスの第 2 番染色体上のマーカー遺伝子の位置と遺伝子型を示す模式図である。各対立遺伝子間の距離は正確な組換え価を反映していないが，動原体（灰色および黒色の丸）に近い側から A，B，C，D の順にマーカー遺伝子が並んでいる。また，突然変異した *Y* 遺伝子は A1，B1，C1，D1 対立遺伝子が乗っている染色体に存在する。

この黄色マウスと，灰色マウス（動原体側から A2，B2，C2，D2 の順に対立遺伝子が並んだ第 2 番染色体のホモ接合体）との交配で 200 匹の産子が得られた。**表２**は，それぞれの遺伝子型と表現型を示すマウスの匹数を表している。

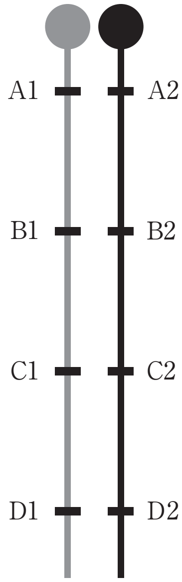


図１

表２

遺伝子型	マーカー A	A2/A2	A2/A2	A2/A2	A2/A2	A1/A2	A1/A2	A1/A2	A1/A2
	マーカー B	B2/B2	B2/B2	B2/B2	B1/B2	B1/B2	B1/B2	B1/B2	B2/B2
	マーカー C	C2/C2	C2/C2	C1/C2	C1/C2	C1/C2	C2/C2	C2/C2	C2/C2
	マーカー D	D2/D2	D1/D2	D1/D2	D1/D2	D1/D2	D2/D2	D2/D2	D2/D2
表現型		灰色	灰色	黄色	黄色	黄色	黄色	灰色	灰色
匹　数		90	2	2	3	96	2	4	1

問４　**表２**のデータをもとに，マーカー遺伝子間（A−B 間，B−C 間，C−D 間）の組換え価を百分率（%）で記せ。ただし，隣接するマーカー遺伝子間で二重乗換えはないものとする。また，有効数字は２けたとする。

問５　問４の結果を用いて，マウス第２番染色体の染色体地図を作成し，突然変異した Y 遺伝子の染色体地図上の位置を次図に記せ。各マーカー遺伝子間の距離および Y 遺伝子とマーカー遺伝子間の距離は，組換え価で表すこと。ただし，有効数字は２けたとする。

(C)　突然変異には，染色体の構造や数に変化が生じた①染色体突然変異と，DNA の塩基配列に変化が生じた遺伝子突然変異がある。いま，第２番染色体上のマーカー遺伝子 A から C までのゲノム領域が逆位になった染色体をヘテロにもつマウスがいたとする。**図２**は，このマウスの染色体上の対立遺伝子の位置関係を表している。このような逆位の染色体をヘテロにもつ個体では，減数分裂時に相同染色体が**図３**のように対合する。このとき，マーカー遺伝子 B とマーカー遺伝子 C の間で単一乗換えが生じると，４種類の染色体が得られる。このうち，動原体を１つもつ染色体は２種類あり，(動原体)－(A1)－(B1)－(C1)－(D1)，(動原体)－(C2)－(B2)－(A2)－(D2) と表すことができる。残りの２種類の染色体のうち，動原体を２つもつ染色体は，(動原体)－(A1)－(ア)－(イ)－(動原体) と表される。また，動原体をもたない染色体は，(D1)－(ウ)－(エ)－(オ)－(カ) と表される。

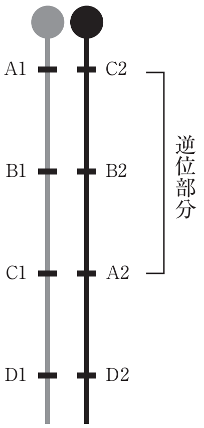


図２

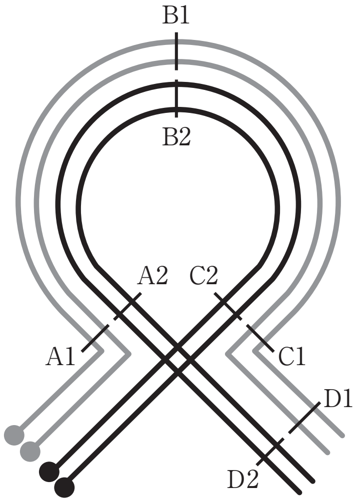


図３

問６　下線部①について，逆位の他に染色体の構造変化を伴う染色体突然変異を３つ記せ。

問７　文中の ア ～ カ に当てはまる適切な対立遺伝子名を記せ。

問８　**図２**に示す第２番染色体をもつマウスと灰色マウス（動原体側から A2，B2，C2，D2 の順に対立遺伝子が並んだ第２番染色体のホモ接合体）を交配したところ，マーカー遺伝子 C とマーカー遺伝子 D との間で組換えを生じた産子が得られた。しかし，逆位部分のマーカー遺伝子（A，B，C）の間で組換えが生じた産子を得ることはできなかった。その理由を，「動原体」と「乗換え」の２語を用いて解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

第５講　遺伝子導入・グルコース輸送体

(A)　ある種のウイルスは，感染すると宿主細胞のゲノムDNAに自分のゲノム由来DNAを挿入させることができる。いったん挿入されたウイルスDNA（プロウイルス）は，宿主細胞ゲノムDNAの一部として複製される。そのため，この性質をもつウイルスをもとにして作製されたベクターは，宿主細胞に遺伝子を安定して導入する手段として生物学の研究に広く用いられてきた。

宿主細胞ゲノムDNAにおけるプロウイルスの挿入場所は前もってわからない。そこで，プロウイルスの挿入場所を調べるため以下の実験を行った。**図１**は実験過程を示し，図中の直線状，環状の二重線は，DNA二本鎖を表す。二重線間の細い線は相補結合（一部）を示す。プロウイルスの塩基配列は，すでにわかっているものとする。

実験：ウイルスベクターをヒトから得た細胞に感染させ，プロウイルスをもつ細胞からDNAを抽出した。抽出したDNAに，プロウイルスを一か所で切断する制限酵素X（DNA鎖を２本とも同じところで切断するタイプの酵素）を加え37℃で２時間反応させると，宿主DNAも切断され，DNA断片㋐が得られた。p，q，r，sはプロウイルス内の塩基を表している。sはプロウイルスの末端にあり，pは切断末端にある。また，p－q，r－sはそれぞれ20塩基長である。①次にDNA断片㋐を含む溶液から制限酵素Xを除去し，②リガーゼを加え，断片の末端どうしを連結させ，環状DNA㋑を得た。さらに，環状DNA㋑を含む溶液に，プロウイルスのq－r間をある一か所のみで切断する制限酵素Yを加え，37℃で２時間反応させ，**図１**に示すようなDNA断片㋒を得た。そのDNA断片㋒を鋳型とし，p－q，r－sの配列をもとに作製したこれらと同じ塩基長のプライマーを用いてPCR法による増幅を行った。③その結果，280塩基対長のDNA断片q－rが増幅された。

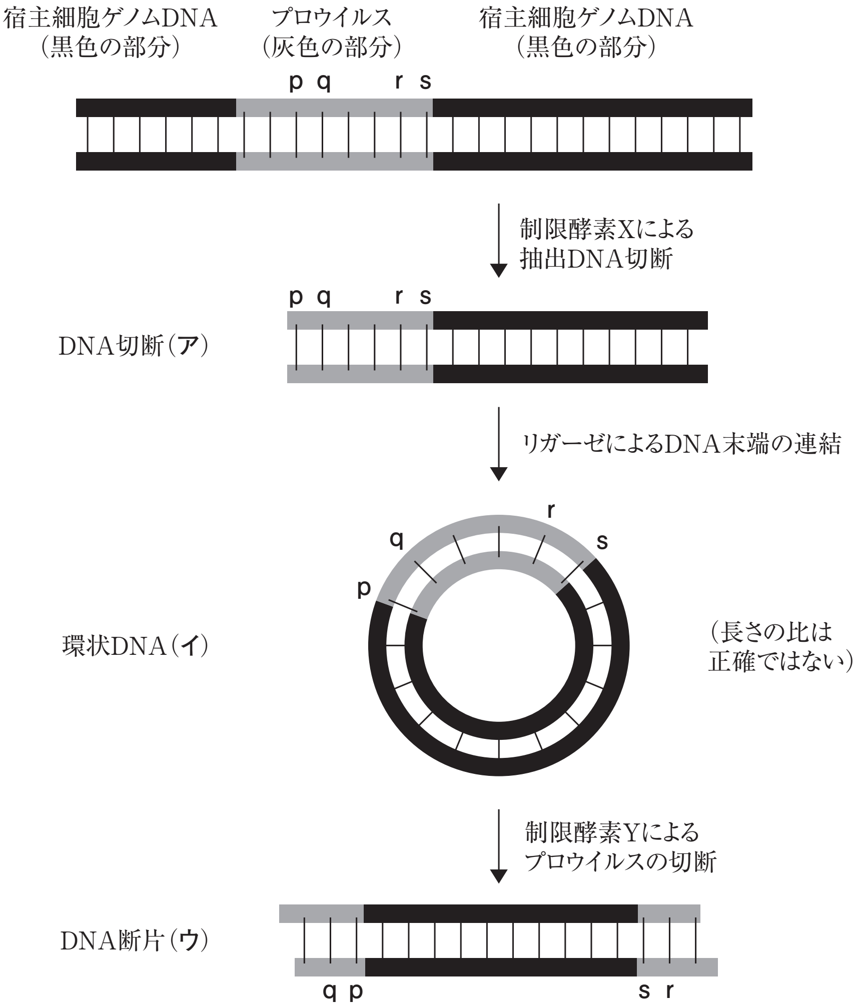


図１

問１　下線部①に関して，制限酵素を除去しなければ，以降の実験にどのような影響があるか。解答欄の枠の範囲内で記せ。

問２　下線部②について，なぜリガーゼによりDNA断片(ア)をいったん環状DNA(イ)にしたのか。その理由を解答欄の枠の範囲内で記せ。

問３　下線部③について，増幅産物にふくまれる宿主由来部分の塩基対長を答えよ。

問４　下線部③で得られた増幅産物を使って，プロウイルスの宿主DNAへの挿入場所を調べたい。その方法を解答欄の枠の範囲内で記せ。

(B)　グルコースのような電荷を持たない比較的小さな分子でも，単純拡散によって脂質二重膜を透過することはほとんどできない。しかし，グルコースは細胞内のエネルギー代謝のもとになる重要な物質で，すみやかに細胞内に供給される必要がある。そこで細胞は，細胞膜の表面にある「グルコース輸送体」を用いてグルコースを促進拡散させることにより，すみやかにグルコースを細胞内に供給している。単純拡散や促進拡散による物質輸送は，ともに細胞からのエネルギーを必要とせず，細胞内と細胞外の物質の濃度勾配を利用しているため，［ア］と呼ばれる。

ある均一な細胞の細胞外のグルコース濃度に対するグルコース取り込み速度を，一定数の細胞で測定した結果を**図２**に示す。細胞外のグルコース濃度が高くなると，輸送体によるグルコース取り込み速度は，ある一定の最大値に近づいていく。これは，グルコース輸送体がグルコースの輸送を触媒する酵素のように振る舞うことを示している。このときのグルコース取り込み速度の最大値を V_{max} とする。また，グルコース取り込み速度が V_{max} の半分を示すグルコース濃度を K_m とする。K_m はグルコースと輸送体の結合の強さを表す定数であり，値が小さいほど結合が強いことを意味する。**図２**より，グルコース輸送体の K_m は［イ］mmol/L（mmol：ミリモル，1mmol＝1×10^{-3}mol）であることが読み取れる。**図２**と同じ測定条件下で，グルコース輸送体の阻害剤 A をこの細胞に添加したときのグルコース取り込み速度を測定した結果を**図３**に示す。

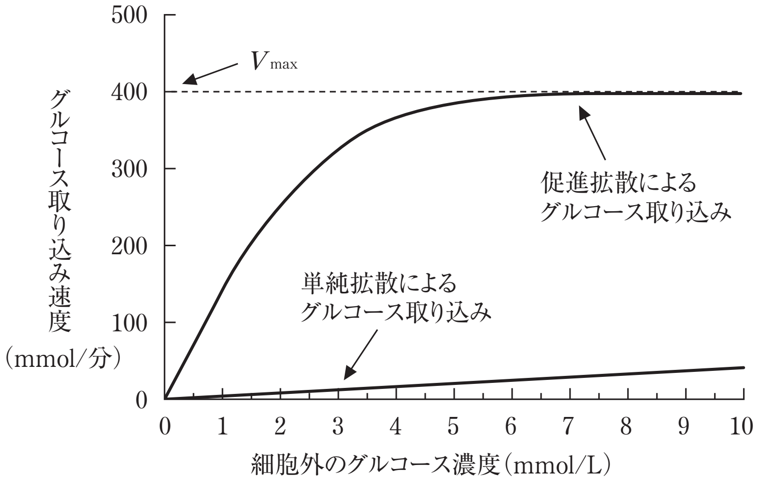


図２

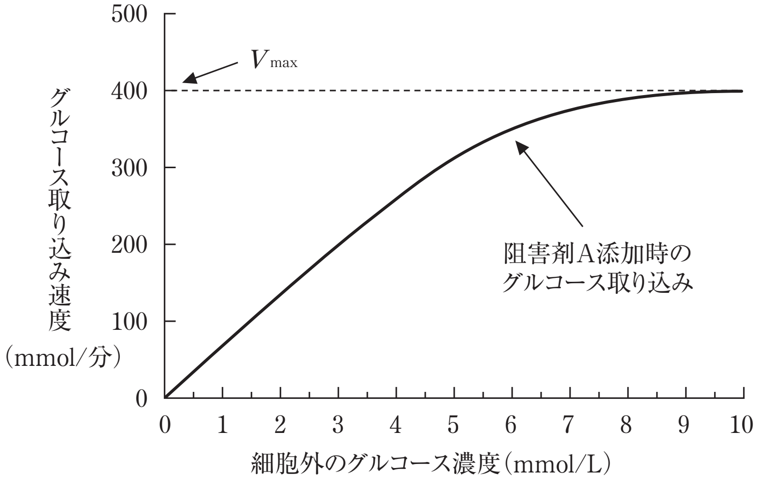


図３

問５　文中の［ア］，［イ］に適切な語句または数値を記入せよ。

問６　**図３**の結果から，阻害剤Ａがグルコースの取り込みを阻害するしくみを，「結合部位」という用語を用いて解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

次に，**図２**の測定で用いた細胞をがん化させて異常細胞を作った。その異常細胞では，グルコース取り込み速度が正常細胞と比較して増加していた。そこで，その原因を検討するために，以下の実験１～実験３を行った。

実験１　正常細胞と異常細胞を用いて，**図２**と同じ実験条件下でグルコース取り込み速度を測定した。その結果，異常細胞は正常細胞と比較して 10 倍の速度で細胞内にグルコースを取り込んでいたことがわかった。さらに④正常細胞と異常細胞について V_{max} と K_m を比較した結果，異常細胞のグルコース取り込み速度の上昇は，細胞膜上のグルコース輸送体の数が増加したことによってもたらされたことがわかった。

実験２　タンパク質の合成を阻害する薬剤を正常細胞と異常細胞に添加した。その後，グルコース輸送体の数の経時変化を測定したところ，正常細胞と異常細胞の間でグルコース輸送体の分解速度に差はなかった。

実験３　正常細胞と異常細胞からそれぞれゲノム DNA を抽出し，グルコース輸送体遺伝子の数を比較したところ，両者の間に違いは見られなかった。

問７　下線部④の結果から，異常細胞を用いて得られた V_{max} と K_m は正常細胞の場合と比較してどのような値であったか。以下の(あ)～(お)から選べ。

(あ)　V_{max}：1 倍，　K_m：10 倍
(い)　V_{max}：$\sqrt{10}$ 倍，K_m：1 倍
(う)　V_{max}：10 倍，　K_m：1 倍
(え)　V_{max}：1 倍，　K_m：$\frac{1}{10}$倍
(お)　V_{max}：10 倍，　K_m：$\frac{1}{\sqrt{10}}$倍

問８　実験１～実験３の結果をふまえて，以下の(1)，(2)に答えよ。

(1)　異常細胞がどのようなしくみでグルコース輸送体の数を増加させたのか。考えられる仮説を解答欄の枠の範囲内で１つ記せ。

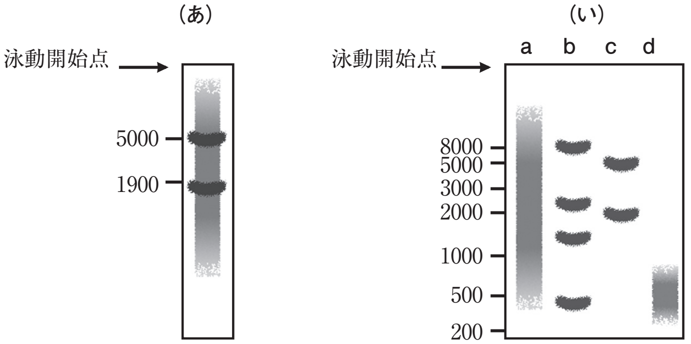
(2)　上の(1)で記した仮説を検証するために，どのような実験を行えばよいか。解答欄の枠の範囲内で１つ記せ。

< Note >

第６講　細胞増殖とタンパク質

大学４年生の京太君は，ある研究室に配属され，細胞の増殖に関わるタンパク質Ｈについて研究することになった。

実験１：京太君は，正常細胞からRNAを抽出後，数百から数千ヌクレオチドを分離できる電気泳動法によりRNAを分離し，染色した（**図１**の(あ)）。電気泳動法ではヌクレオチド数が大きいものほど，泳動開始点からの移動距離が小さい。5000ヌクレオチドおよび1900ヌクレオチド付近の顕著なバンドはリボソームRNAである。タンパク質をコードする伝令RNAは，分子量の大きいものから小さいものまで，中間程度のものを中心に連続的な分布を示す。伝令RNAが連続したアデニンヌクレオチドを終末にもつことを利用し，①連続したチミンヌクレオチドをもつプライマーを用いて逆転写酵素により相補的なDNAを合成した。



図中の左の数字はヌクレオチド数を表す

図１

問１　下線部①について，合成されたDNAの電気泳動結果として最もふさわしいものはどれか。**図１**の(い)のレーン a ～ d の中から選べ。また，選んだ理由について解答欄の枠の範囲内で記述せよ。

実験２：続いて京太君は，189 個のアミノ酸からなるタンパク質 H の，②開始コドン（アミノ酸番号１）から終止コドンまでをコードする DNA（**図２**）を得るために，21 ヌクレオチドのプライマーを設計し，前述の相補的な DNA を鋳型として PCR により増幅した。得られた DNA がコードするタンパク質を発現させるために，この DNA を発現プラスミドに組み込んだ。DNA 配列を確認したところ，組み込まれた DNA は正常なタンパク質 H をコードすることが明らかとなった。

アミノ酸番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	…
DNA 配列	ATG	ACG	GAA	TAT	AAG	CTG	GTG	GTG	GTG	GGC	GCC	GGC	GCC	…

…	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	終止
…	GGC	CCC	GGC	TGC	ATG	AGC	TGC	AAG	TGT	GTG	CTC	TCC	TGA

図２

問２　下線部②について，用いたプライマーの配列を以下の㋐～㋗の中から２つ選べ。

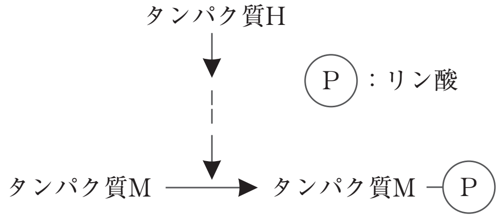
㋐　GTGCTGAAGTATGAAACGATG
㋑　TACTGCCTTATATTCGACCAC
㋒　ATGACGGAATATAAGCTGGTG
㋓　CACCAGCTTATATTCCGTCAT
㋔　TGCAAGTGTGTGCTCTCCTGA
㋕　GCACTTACACACGAGGGATCA
㋖　TCAGGAGAGCACACACTTGCA
㋗　AGTCCTCTCGTGTGTGAACGT

実験３：あるがん細胞の細胞株を材料に実験１および２と同様の実験を行い，得られた遺伝子 H の DNA を発現プラスミドに組み込んだ。得られたプラスミド 20 個の DNA 配列を解析したところ，③正常遺伝子 H と１塩基変異の入った遺伝子 H_A に由来する DNA をもつプラスミドがおおよそ１対１の比率で得られた。

問３　下線部③について，比率がおおよそ１対１となった理由を解答欄の枠の範囲内で記述せよ。

マウス由来のある細胞（以下，テスト細胞）は，培養ペトリ皿いっぱいに単層の細胞シートを形成すると増殖を止める。遺伝子 H の作るタンパク質Hは，いくつかのステップを経て，タンパク質Mのリン酸化を促進する（**図3**の(う)）。実験1～3で得た遺伝子 H もしくは遺伝子 H_A の発現プラスミドをこのテスト細胞に導入し，2週間後に培養ペトリ皿の観察を行うと，遺伝子 H の発現プラスミドを導入したテスト細胞の培養ペトリ皿には単層の細胞シートのみが観察される。一方，遺伝子 H_A の発現プラスミドを導入したテスト細胞の培養ペトリ皿には，単層の細胞シートの上にがん細胞のような細胞が積み重なった細胞集塊が多数観察される（**図3**の(え)）。ただし，発現プラスミドの導入効率とそれによって発現するタンパク質の量に差はない。

(う)



(え)

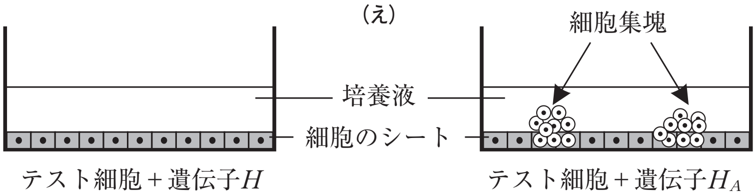


図3

京太君は，遺伝子 H_A の変異に加えて，別の場所に変異の入った遺伝子 H_{AB} と，それとは別の場所に変異の入った遺伝子 H_{AC} の発現プラスミドをおのおの作製した。各遺伝子から発現されるタンパク質をここでまとめると，遺伝子 H からは正常タンパク質H，遺伝子 H_A からは1アミノ酸が変異している変異タンパク質 $\mathrm{H_A}$ が発現される。また，遺伝子 H_{AB}，H_{AC} からは，$\mathrm{H_A}$ に加えてさらに1アミノ酸が変異している変異タンパク質 $\mathrm{H_{AB}}$，$\mathrm{H_{AC}}$ がそれぞれ発現される。これらのタンパク質の機能にはタンパク質Iおよびタンパク質Jとの結合が重要である。タンパク質 $\mathrm{H_A}$ は，タンパク質I，タンパク質Jのどちらとも結合するが，タンパク質Iとタンパク質Jの両方と同時に結合することはできない。一方，タンパク質 $\mathrm{H_{AB}}$ はタンパク質Iとのみ結合し，$\mathrm{H_{AC}}$ はタンパク質Jとのみ結合する。また，テスト細胞にはタンパク質Iとタンパク質Jは十分量発現している。

実験４：京太君は，テスト細胞に発現プラスミドを導入し，正常タンパク質Ｈおよび変異タンパク質 H_A，H_{AB}，H_{AC} をそれぞれ発現させた後に，リン酸化されたタンパク質Ｍの量を測定した。そして，正常なタンパク質Ｈを発現させたときのリン酸化されたタンパク質Ｍの細胞あたりの量を１とし，変異タンパク質 H_A，H_{AB}，H_{AC} を発現させたときのリン酸化されたタンパク質Ｍの量比を求めた。また，Ｈ，H_A，H_{AB}，H_{AC} を発現させたときの培養ペトリ皿内に形成された細胞集塊の数を数えた。両方の結果をまとめたものが**表１**である。

表１

テスト細胞に発現させたタンパク質	リン酸化されたタンパク質Ｍの量	形成された細胞集塊の数
正常タンパク質Ｈ	1	0
変異タンパク質 H_A	10	100
変異タンパク質 H_{AB}	8	5
変異タンパク質 H_{AC}	1	3

問４　タンパク質Ｍのリン酸化の促進に関わるタンパク質はＩとＪのどちらと考えられるか選べ。また，その理由を解答欄の枠の範囲内で記述せよ。

実験５：**表１**のように変異タンパク質 H_{AB} あるいは H_{AC} を発現させたときの細胞集塊の数は，変異タンパク質 H_A を発現させたときに比べてかなり少なかった。そこで次に，京太君は２つの変異タンパク質 H_{AB} と H_{AC} を同時に発現させる実験を行った。④その結果，変異タンパク質 H_A を発現させたときに匹敵する数の細胞集塊が形成された。

問５　下線部④について，変異タンパク質 H_A を発現させたときに匹敵する数の細胞集塊が形成された理由を，タンパク質 H_A，タンパク質 I，タンパク質 J，結合，という４つの語句をそれぞれ少なくとも１回用いて解答欄の枠の範囲内で記述せよ。ただし，タンパク質 H，H_A，H_{AB}，H_{AC} の発現量の差による影響はないものとする。

実験６：京太君は，タンパク質 M のリン酸化を阻害する薬剤 Z の存在を知った。京太君は，この薬剤 Z を用いることで遺伝子 H_A によって形成される細胞集塊の数を抑制できるのではないかと考え，実験４で行った変異タンパク質 H_A を発現させるときに薬剤 Z を同時に加え，２週間後に培養ペトリ皿を観察した。すると細胞集塊が形成されないだけでなく，テスト細胞も増殖せず単層の細胞シートも形成されていなかった。

問６　テスト細胞を正常細胞，細胞集塊をがん細胞と考えたとき，実験６の結果から，薬剤 Z を抗がん剤として用いる場合に生じる問題点を**表１**の結果を踏まえて解答欄の枠の範囲内で記述せよ。ただし，薬剤 Z はタンパク質 M のリン酸化を阻害する作用のみをもつものとする。

第７講　光合成・バイオテクノロジー

(A)　光合成は，太陽の光エネルギーを生命が利用できる形に変換する過程である。光合成の最初の過程は，光によるクロロフィルなどの光合成色素の励起である。①励起エネルギーは反応中心クロロフィルに伝えられ，そこで電子が放出される。この電子は電子伝達系を移動し，最終的に［ア］の還元力として蓄えられる。この電子伝達に伴い，チラコイド膜の外側から内側へ［イ］が移動する。この［イ］の濃度勾配を利用することで，ATP（アデノシン三リン酸）合成酵素が ADP（アデノシン二リン酸）とリン酸から ATP を合成する。この過程で作られた［ア］と ATP は，［ウ］回路による二酸化炭素の固定に使われる。

　乾燥ストレス下では，蒸散を防ぐために気孔が閉鎖し，葉緑体への二酸化炭素の供給量が低下する。その結果，②二酸化炭素の固定反応の速度が低下し，電子伝達系で生じる過剰な還元力が活性酸素の生成を引き起こすことで，③葉緑体機能を阻害する。

問１　文中の［ア］～［ウ］に当てはまる適切な語句を記せ。

問２　下線部①に関連して，電子を放出した光化学系Ⅱの反応中心クロロフィルが元の状態に戻る。この反応に伴って，植物の光化学系Ⅱのチラコイド内側で起こる反応により，現在の組成の大気がつくられた。この反応を解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問３　下線部②に関連して，乾燥ストレス以外に，自然環境下で二酸化炭素の固定反応速度が低下し，活性酸素を生成する主な状況を１つ記せ。

問４　下線部③に関連して，この阻害を軽減するために植物がもつ機構の１つが，反応中心当たりのクロロフィルの量を下げることである。しかし，自然環境下では不利な点があるので，多くの植物は，この機構を多用しない。どのようなときに，どのような理由で不利になるのか，解答欄の枠の範囲内で記せ。

問５　秋に植物が葉を落とす前に見られる紅葉は，クロロフィル分解の結果である。このクロロフィル分解の生理的な意義を解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

(B)　ヒトでは，女性はX染色体を２本，男性はX染色体とY染色体を１本ずつもつ。女性の２本のX染色体はそれぞれ父親と母親由来であるが，一方が不活性化，もう一方は活性化され，不活性化されているX染色体上の遺伝子が発現しなくなることが知られている。２本のX染色体のどちらが不活性化されるかは細胞により異なり，父親由来のX染色体が不活性化している細胞と母親由来のX染色体が不活性化している細胞の割合は，組織によっても，個人によっても異なる。DNAは４つの塩基（A：アデニン，G：グアニン，C：シトシン，T：チミン）からなる。Cはメチル（CH_3）基をもつC^mと，もたないCに区別することができる。

X染色体上に存在する遺伝子*A*の４塩基配列CCGGは，不活性化したX染色体上においてはCC^mGGに変化している。制限酵素*Msp* Ⅰと*Hpa* Ⅱは，ともにCCGGを認識部位とするが，*Msp* ⅠはCCGGとCC^mGGの両者を切断するのに対して，*Hpa* ⅡはCCGGのみを切断し，CC^mGGを切断できない。**図１**に示すように，PCRプライマーに挟まれた領域が制限酵素で切断されたDNAはPCR法で増幅されない。また，遺伝子*A*は３塩基の繰り返し配列（CAGCAG・・・）をもち，その長さは対立遺伝子により異なるため，対立遺伝子の由来した親を特定することができる。よって，DNAを*Hpa* Ⅱで処理した後にPCR法で増幅することで，女性における２本のX染色体の不活性化状態を解析できる。

いま，父親および母親の末梢血液の細胞より抽出したDNAを制限酵素処理せずに用いて，**図１**のように遺伝子*A*にプライマーを設計しPCR法により増幅した。父親と母親由来のPCR産物を電気泳動したところ，**図２**の左から１番目と２番目に示すようなバンドパターンが得られた。

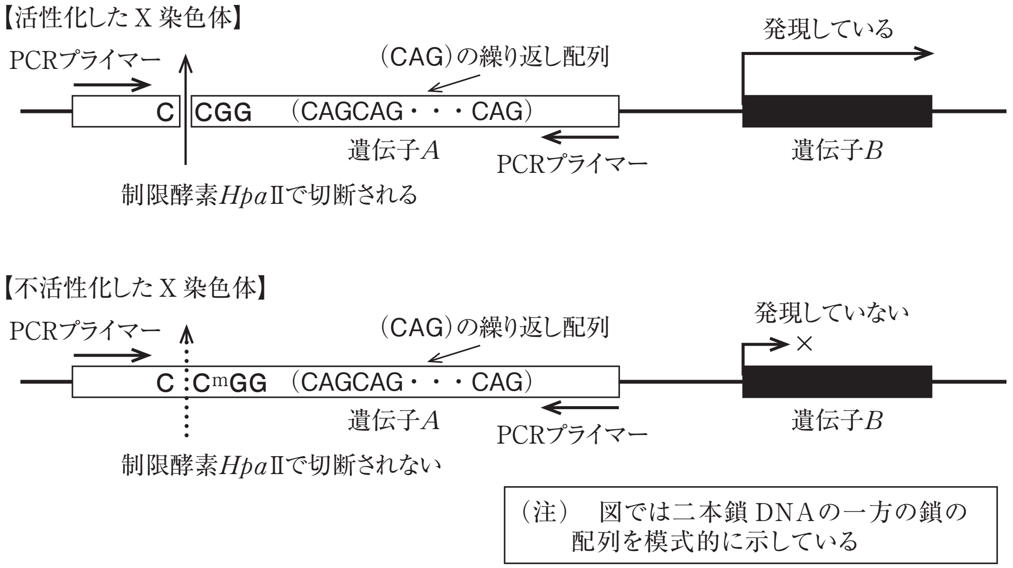


図１

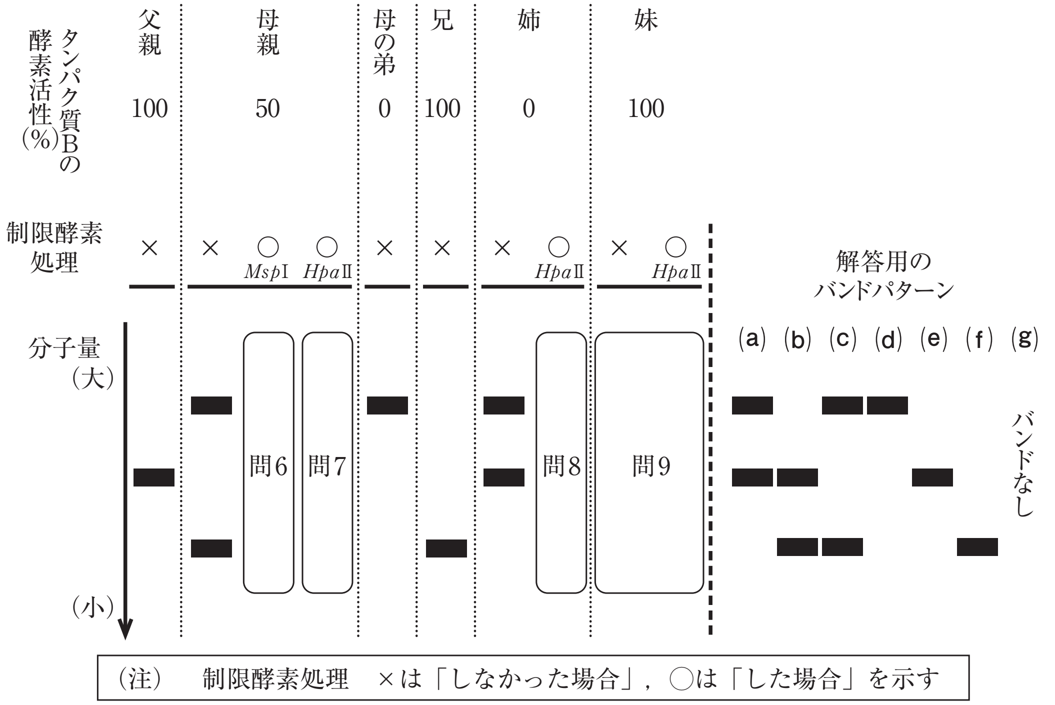


図２

問６　母親のDNAを制限酵素 *Msp* Ⅰで処理した後，**図１**に示すようにPCR法で増幅した。予想される電気泳動の結果を**図２**に示されているバンドパターン(a)〜(g)から選べ。

X 染色体上に存在する遺伝子の変異が原因である疾患の多くは男性が発症するが，女性の場合，この変異遺伝子をもつ X 染色体が活性化している細胞の割合により，様々な程度で発症する。

いま，X 染色体上に存在する遺伝子 B の変異によりタンパク質 B の酵素活性を失う疾患にかかっている患者をもつある家系を検討する。このタンパク質 B は，末梢血液の細胞でのみ発現し，末梢血液の細胞を用いた酵素活性を測定することで解析可能である。

図２に，この家系（両親と兄，姉，妹，および，母の弟の６人）におけるタンパク質 B の酵素活性と遺伝子 A の PCR 法の解析結果を示す。PCR 法には，末梢血液の細胞より抽出した DNA を制限酵素処理しなかったもの，および，処理したもの（男性は処理しないもののみ）を用いている。電気泳動の各レーン間のバンドの太さの違いは考慮しない。

なお，この遺伝子 B は活性化されている X 染色体でのみ発現する。また，遺伝子 B は遺伝子 A の近傍に位置し，組換えは起こらないものとする。

問７　母親の DNA を制限酵素 *Hpa* Ⅱで処理した後，**図１**に示すように PCR 法で増幅した。予想される電気泳動の結果を**図２**に示されているバンドパターン(a)～(g)から選べ。

問８　姉の DNA を制限酵素 *Hpa* Ⅱで処理した後，**図１**に示すように PCR 法で増幅した。予想される電気泳動の結果を**図２**に示されているバンドパターン(a)～(g)から選べ。

問９　妹の DNA を**図１**に示すように，制限酵素 *Hpa* Ⅱで処理せずに PCR 法で増幅した場合と，制限酵素 *Hpa* Ⅱで処理した後に PCR 法で増幅した場合，電気泳動のバンドパターンの組み合わせは，複数の可能性が考えられる。次の選択肢(あ)〜(し)が示す組み合わせのうち，可能性のあるものをすべて選べ。

	図２のバンドパターンの組み合わせ	
	DNA の *Hpa* Ⅱ酵素処理	
選択肢	しなかった場合	した場合
(あ)	(a)	(a)
(い)	(a)	(d)
(う)	(a)	(e)
(え)	(a)	(g)
(お)	(b)	(b)
(か)	(b)	(e)
(き)	(b)	(f)
(く)	(b)	(g)
(け)	(c)	(c)
(こ)	(c)	(d)
(さ)	(c)	(f)
(し)	(c)	(g)

第８講　湖沼の生態系(1)

(A)　ミドリムシは，光合成による独立栄養での生育（以降，光独立栄養とする）と，暗所での従属栄養による生育（以降，従属栄養とする）が可能である。今回の実験で用いるミドリムシＡとミドリムシＢは主に無性的に２細胞に分かれて増殖する。これらのミドリムシは，相互に大きさや細胞形態がよく似ているものの，光学顕微鏡で区別することは可能である。光独立栄養では，光照射下で培養し，従属栄養では，光独立栄養と同じ培地に炭素源として乳酸とグルタミン酸を加えて，暗所で培養した。**図１**は，ミドリムシＡとミドリムシＢの光独立栄養と従属栄養での生育状況を示したもので，横軸に培養時間，縦軸に細胞密度を示している。細胞密度は，培養液の濁り具合（濁度）から算出した値を対数表示している。細胞数が２倍になると濁度も２倍になる。**図１**の光独立栄養，従属栄養の直線の傾きは，ミドリムシＡでそれぞれ0.018/時間，0.018/時間，ミドリムシＢでそれぞれ0.032/時間，0.011/時間であった。

　また，**図２**は，ミドリムシＡとミドリムシＢ，およびクロレラＣの酸素発生速度と光強度の関係を示したものであり，クロレラは光独立栄養のみで生育する。なお，３種の生物の呼吸速度は，ほぼ同等であった。

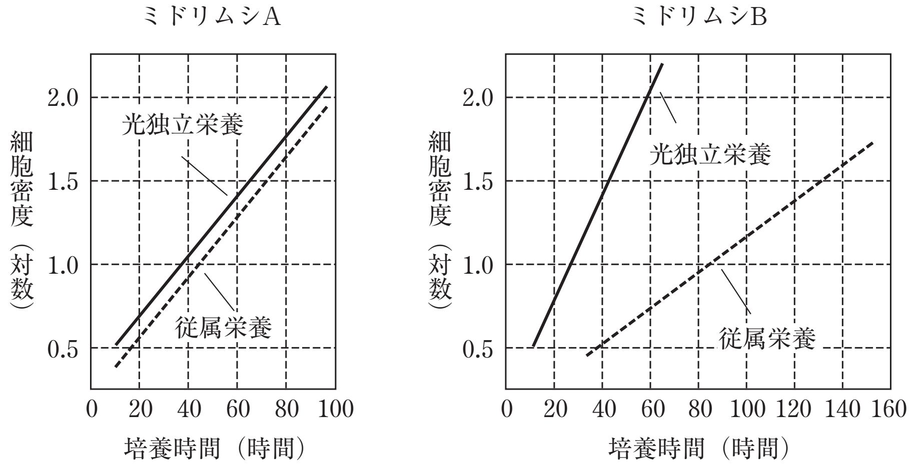


図１

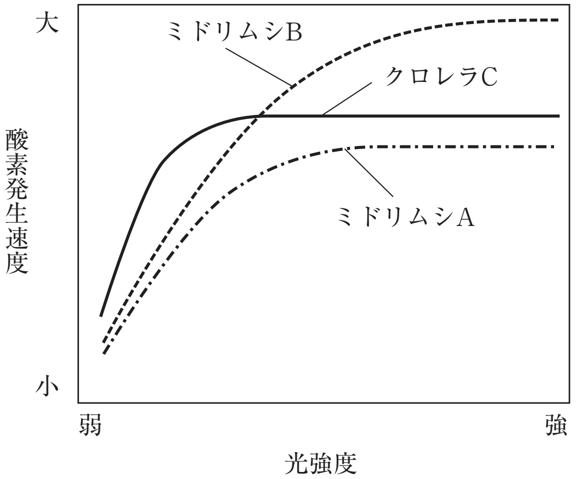


図２

問１　光独立栄養条件下のミドリムシＡとミドリムシＢの培養液（**図１**における細胞密度 1.0）からそれぞれ同量をとって混合し，光独立栄養条件で２日間培養した。培養液 1mL 中に含まれているミドリムシＡとミドリムシＢの細胞数は，どちらの方が多くなっていると考えられるか。

また，従属栄養条件下のミドリムシＡとミドリムシＢの培養液（**図１**における細胞密度 1.0）からそれぞれ同量をとって混合し，従属栄養条件で２日間培養した。培養液 1mL 中に含まれているミドリムシＡとミドリムシＢの細胞数は，どちらの方が多くなっていると考えられるか。なお，いずれの培養においても，２つの生物は相互の生育に影響を及ぼさないものとする。

問２　ミドリムシＢの光独立栄養において，細胞分裂が終了してから，次の分裂が終了するまでにおよそ何時間かかっているか。下から選べ。ただし，$\log_{10}2 \fallingdotseq 0.3$ である。

10 時間　　20 時間　　30 時間　　40 時間　　50 時間　　60 時間

問３　ミドリムシＡとミドリムシＢが富栄養化した浅い湖沼に同時に生育している場合，両者が分布する水深は少し異なると考えられる。より浅い場所に多く分布すると考えられるミドリムシ種，より深い場所に分布すると考えられるミドリムシ種をそれぞれ答え，その理由を解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問４　ミドリムシＡ，ミドリムシＢ，クロレラＣの３つの生物が混合された細胞懸濁液がある。この細胞懸濁液においてクロレラＣが最も早く生育するための適切な工夫を解答欄の枠の範囲内で説明せよ。ただし，３つの生物は，相互の生育に影響を及ぼさないものとする。

(B)　**図３**は，温帯に位置するある湖の表層における，水温，無機養分濃度，植物プランクトン密度の年間変動を模式図として示している。この湖では，表層と深層の水の混合が冬に起こる。なお，この湖には動物プランクトンや魚類も生息する。

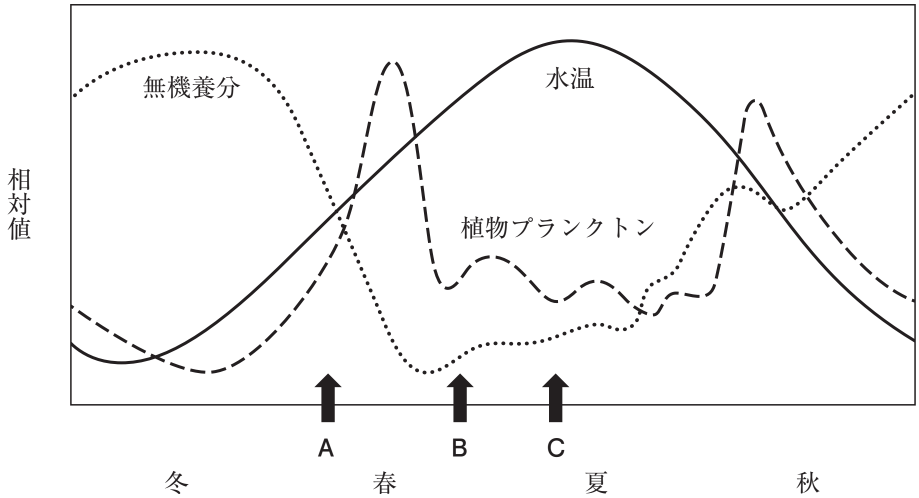


図３

問５　初春（矢印**A**）には，水温および光量が上昇するのに伴い，植物プランクトンの増殖が盛んになる。この時期に優占する植物プランクトンは，どのような特性をもつ種と考えられるか。解答欄の枠の範囲内で記せ。

問６　**図３**には動物プランクトンの増減が示されていないが，初春から夏の時期における動物プランクトンの増減パターンはどのようになると考えられるか。解答欄の枠の範囲内で記せ。

問７　夏期には，植物プランクトンの密度は低く抑えられている。この時期（矢印**C**）に優占する植物プランクトンは，どのような特性をもつ種と考えられるか。食物連鎖の観点から考え，解答欄の枠の範囲内で記せ。

問８　この湖で，小魚を食べる魚を大量に捕獲したことにより，動物プランクトンを主に食べる小魚が初春（矢印**A**）に大量に増えたとする。初春（矢印**A**）から晩春（矢印**B**）の期間における植物プランクトン密度は，**図３**で示されている植物プランクトン密度と比較して，増加するか，減少するか。食物連鎖の観点から，予想される変化を選べ。また，その理由を，解答欄の枠の範囲内で記せ。

< Note >

第９講　湖沼の生態系(2)

生物はさまざまな資源をめぐって種間競争をおこない，そして，自らの生息環境に影響を及ぼす。生息環境の変化は，資源をめぐるあらたな種間競争を引き起こし，その結果，生物群集の組成が変化する。

森林生態系において，光は植物の成長に欠かせない重要な資源である。しかし，森林が成熟するにつれて植物が光を利用できる環境そのものも変化する。日当たりのよい環境で速く成長できる陽樹は，森林の成立する初期段階で優占するが，森林の上層部（林冠）が樹木の枝や葉によって覆いつくされるようになると，地表付近（林床）には光が届きにくくなる。林床では，弱い光環境下でも十分に生育できる陰樹の幼木は陽樹の幼木との競争に有利になるため，森林が成熟するにつれてしだいに陽樹林から陰樹林に置き換わっていく。①陰樹林が優占する状態は長期間安定となり，極相林となる。

一方，湖沼生態系では，維管束植物である沈水植物（植物体が完全に水中に没している水草）と微細な藻類である植物プランクトンが光や栄養塩類をめぐって競争する。水深が浅く栄養塩類に乏しい透明度の高い湖沼では，水中に溶存する栄養塩類だけでなく湖底中の栄養塩類を利用して成長できる沈水植物が優占する。しかし，このような貧栄養湖沼も周囲の山林などから栄養塩類や有機物が河川を通じて流入することにより，長い歳月をかけて自然に富栄養化する。水中の栄養塩類の濃度が増加すると，やがて，光をめぐる競争において沈水植物より有利な植物プランクトンが優占する。②いったん植物プランクトンに置き換わると，この状態は安定的となる。

近年，③人間活動に由来する栄養塩類が河川を通じて湖沼に大量に流入するようになってきた。栄養塩類がある閾値を超えて湖沼に流入すると，生態系が沈水植物の優占する状態から植物プランクトンの優占する状態へ短期間のうちに急激に変化することがある。いったん植物プランクトンが大発生すると，沈水植物の繁茂する状態への逆向きの変化が起こりにくくなるため，沈水植物が優占する元の状態を取り戻すには湖沼に流入する栄養塩類の量を大幅に低減するなど相当な努力が必要とされる。

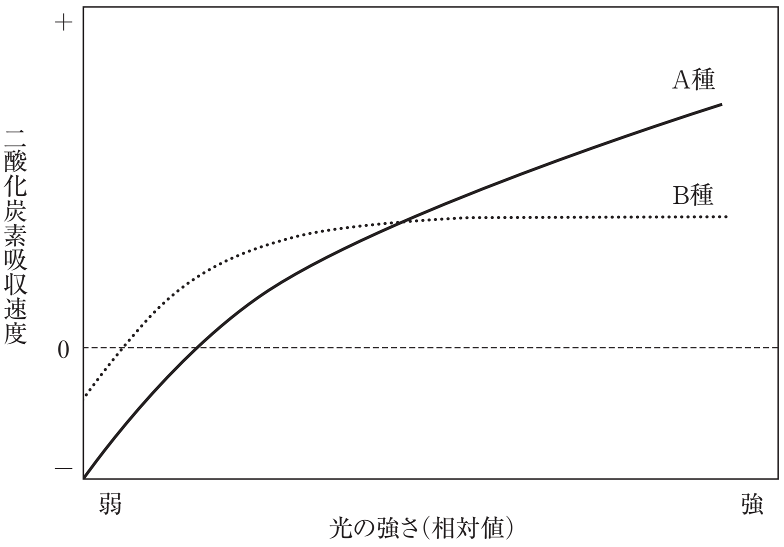


図１

問１　**図１**は，さまざまな光環境に対して２種の幼木の光合成速度を測定した実験の結果である。下線部①において，極相林を形成するのはＡ種とＢ種のどちらであるか，選べ。また，その根拠を解答欄の枠の範囲内で記述せよ。

問２　陰樹によって極相林が形成された後でも，森林のところどころに嵐による倒木や枯死などによって陽樹が生育できるギャップと呼ばれる生息空間が形成されることがある。このようなギャップの中で芽生えるのに有利な陽樹の種子の特徴を１つ挙げ，解答欄の枠の範囲内で記述せよ。

問３　下線部②において，植物プランクトンが優占すると沈水植物が生育しにくくなる主要な理由を解答欄の枠の範囲内で記述せよ。

問４　**図２**は，ある湖において，1910年(図中の'10)から５年ごとに2005年(図中の'05)まで湖沼の透明度と湖沼に流入する栄養塩類の量を計測した結果を示す。1970 年以降，湖沼に流入する栄養塩類の量を削減する努力を行ったところ，2000 年頃から湖沼生態系が元の状態に回復する様子が観察された。下線部③について，沈水植物から植物プランクトンが優占する状態への急激な変化が起こったときの湖沼に流入する栄養塩類量の閾値として適当なものを，**N1** ～ **N5** から選べ。ただし，そのような変化が複数回生じたと考えられる場合にはその記号をすべて記入すること。

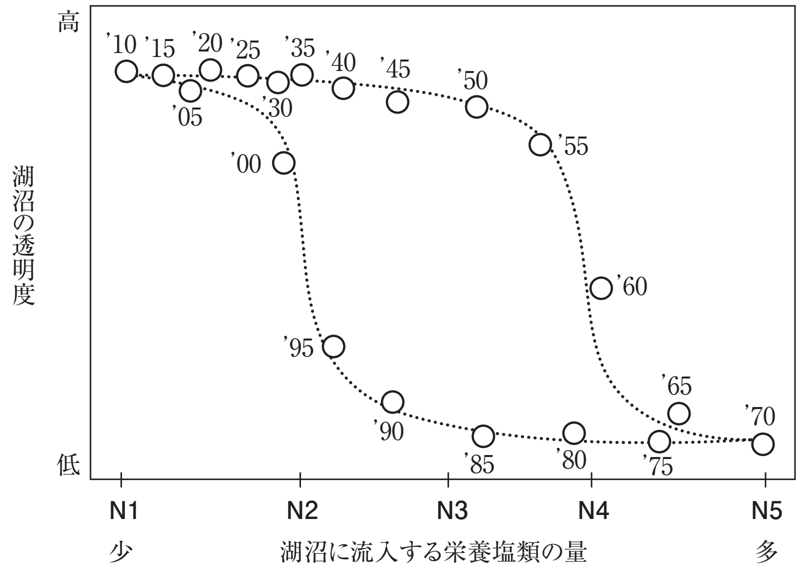


図２

問５　下線部③で述べたように，湖沼に流入する栄養塩類の量がある閾値に達すると，沈水植物から植物プランクトンが優占する状態への変化が短期間で急激に起こる。その理由を，光と栄養塩類をめぐる両者の競争の観点から解答欄の枠の範囲内で記述せよ。

問６　問４で述べたように，1970 年以降，湖沼に流入する栄養塩類の量を削減する努力が開始された。ところが，植物プランクトンが急激に増加し始めた直前のレベルまで栄養塩類の流入量を削減したにもかかわらず，湖沼の透明度は全く回復しなかった。さらに大幅な栄養塩類の流入量の低減をしないと湖沼の透明度が回復しなかったのはなぜか，沈水植物による栄養塩類の吸収能力に言及しながら解答欄の枠の範囲内で記述せよ。

第10講　自家不和合・血縁淘汰

(A)　サクラソウは，北海道から九州にかけての湿地や草原に自生する多年草である。サクラソウの花は，おしべとめしべの位置が同一の花の中でずれており，**図 1** のようにおしべが長くめしべが短い短花柱花のみをつける個体と，おしべが短くめしべが長い長花柱花のみをつける個体が，通常は集団中に 1：1 の比率で存在している。サクラソウでは，短花柱花と長花柱花の間で受粉が起こると正常に種子ができるが，同じ型の花同士では，たとえ異なる個体間で受粉が起きても花粉管が正常に伸長せず，種子が形成されない。これは，自家受粉による［　ア　］の影響を防ぐ自家不和合性が，同じ型の花をもつすべての個体に及ぶためである。

　サクラソウの自然集団では，吸蜜に訪れるマルハナバチが花粉の媒介を担っている。それぞれの型の花の花粉は，葯の位置の違いによってマルハナバチの体の異なる部位に付着するため，短花柱花の花粉は長花柱花の柱頭に，長花柱花の花粉は短花柱花の柱頭に届けられやすい。①<u>サクラソウのように集団内でおしべとめしべの長さに二型が見られる性質は二型花柱性と呼ばれ，被子植物の 25 以上の科で独立に進化している</u>。サクラソウではおしべとめしべの長さや自家不和合性反応に関わる花粉や柱頭の性質が決まった組み合わせで受け継がれることから，②<u>花型を特徴付ける一連の形質は 1 つの遺伝子座で決定されているとみなすことができる</u>。

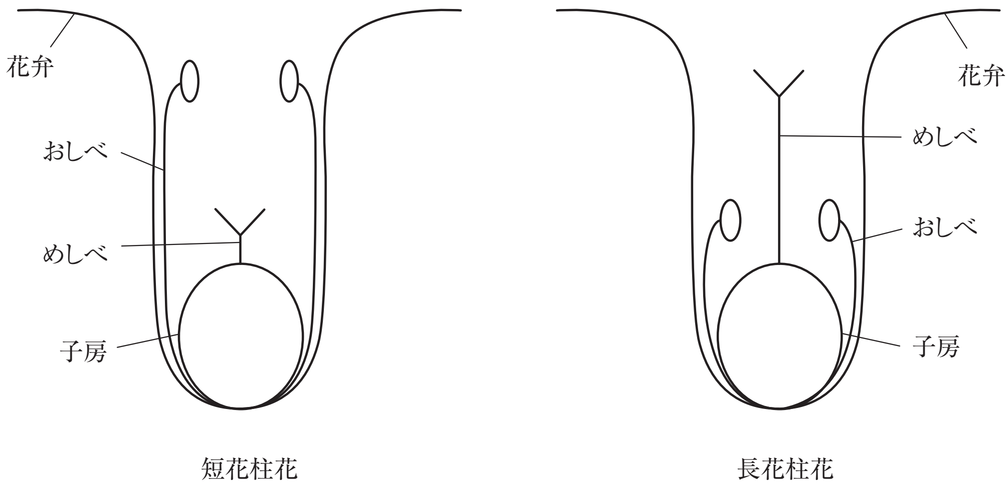


図 1　短花柱花および長花柱花の断面の模式図

一方，埼玉県田島ヶ原のサクラソウ集団では，周囲の宅地化に伴って花粉媒介者のマルハナバチが消失し，短花柱花および長花柱花の結実率が他の集団のそれと比べて顕著に低い。この集団には，突然変異によって生じた，おしべとめしべの長さが等しい等花柱花をもつ個体が低頻度で存在する。短花柱花や長花柱花と異なり，等花柱花は自身の花粉を受粉しても種子を作ることができる性質をもつ。この集団において，それぞれの花型をもつ個体は**表 1** のように種子を生産していた。現在のような種子生産の傾向が続いた場合，［ア］の影響が大きく，等花柱花がいくら種子を生産してもそれが次世代の確保につながらなければ集団は衰退に向かうと予測されるが，［ア］の影響がそれほど大きくない場合，③この集団では自然選択による進化が急速に起こると考えられる。

表 1　埼玉県田島ヶ原のサクラソウ集団における花型ごとの平均結実率および平均種子生産数（Washitani *et al.*, 1994 の表を改変）

花　型	花あたりの結実率（%）	花あたりの種子生産数
長花柱花	20	7.6
短花柱花	9	2.1
等花柱花	82	32.0

問 1　下線部①について，類似した環境下で個別に進化した異なる生物が，よく似た形質を独立に進化させることを何と呼ぶか，記せ。

問 2　サクラソウで集団中の短花柱花と長花柱花の比率が 1 : 1 であるのは，いずれの花が生産した種子からも短花柱花と長花柱花が等しい確率で生じるためである。下線部②の遺伝子座において，短花柱花を作らせる対立遺伝子 A が，対立遺伝子 a に対して優性である場合，短花柱花の遺伝子型と，長花柱花の遺伝子型ををそれぞれすべて記せ。ただし，等花柱花の存在は無視できるものとする。

問 3　下線部③について，田島ヶ原のサクラソウ集団でどのような進化が起こると考えられるか。理由も含め解答欄の枠の範囲内で記せ。

(B) アリ，ハチ，シロアリなどは高度に組織化された集団をつくって社会生活を営んでいる。④シロアリでは，生殖に専念する王と女王，生殖に参加せず，採餌や子の世話などの労働を担うワーカー，天敵から巣を防衛する兵隊などの分業がある。近年，シロアリの巣内の血縁関係について，詳しい分析が進められ，これまで知られていなかった繁殖の仕組みが明らかになった。

北海道から九州まで幅広く分布するヤマトシロアリでは，初夏に雄と雌の羽アリが一斉に巣を飛び立ち，出会った雌雄がペアを組み，一夫一妻で新たな巣をつくる。はじめに巣をつくった雄と雌が，その巣の王と女王になる。女王は，ほとんどの子を有性生殖で産むが，ごく一部の子を単為生殖で産む。巣が大きくなると，子の中から卵巣を発達させて副女王になる個体が複数現れ，女王とともに生殖を行う。女王が死亡した後は，副女王が女王の後継者となって生殖を引き継ぐ。

社会性昆虫の巣内の血縁関係を知る方法の１つに，ゲノム中で CTACTACTA……のように決まった塩基配列が繰り返し現れる部分（マイクロサテライトと呼ばれる）を調べるものがある。マイクロサテライトの塩基配列の繰り返し数は多様であり，1 個体においても，父親由来の DNA と母親由来の DNA の間で繰り返し数が異なることが多い。⑤ある巣から王，女王，4 匹の副女王，および 5 匹のワーカーを取り出し，あるマイクロサテライトを含む DNA の領域を人工的に増幅して電気泳動を行ったところ，**図２**のような結果を得た。ただし，染色体数を確認したところ，すべての個体の染色体は 42 本であった。

王は女王に比べて長寿であるが，⑥王が死亡した場合は，子の中から精巣を発達させて副王になる個体が現れ，生殖を引き継ぐ。ただし，副王に入れ替わった巣は，近親交配による［ ア ］の影響により衰退する。

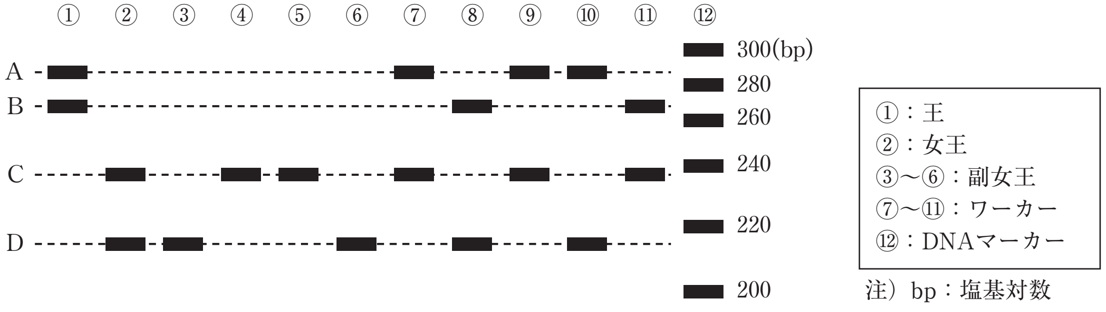


図２　電気泳動の結果

問４　文章(A)と(B)の［ア］に共通して当てはまる適切な語句を記せ。

問５　下線部④に関連して，ワーカーや兵隊は自分の子を残さず，王や女王を助けて兄弟や姉妹を増やしている。自らの適応度がゼロになるにもかかわらず，なぜこのような行動が進化したのか，個体間の血縁関係の観点から考え，解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問６　下線部⑤に関連して，**図２**の王の遺伝子型を AB, 女王の遺伝子型を CD とするとき，副女王の遺伝子型をすべて記せ。また，**図２**から読み取れるヤマトシロアリの繁殖の仕組みを解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問７　下線部⑥に関連して，**図２**の王が死亡して副王に入れ替わった後に生まれるワーカーの遺伝子型として適当でないものを，次に示す遺伝子型からすべて選べ。

AA，AB，AC，AD，BB，BC，BD，CC，CD，DD

< Memo >

テキスト解答

第１講

(A)

問１　②

問２　⑧

(B)

問３　**ア**　細胞体　**イ**　樹状突起　**ウ**　軸索　**エ**　髄鞘
オ　ランビエ絞輪　**カ**　跳躍　**キ**　静止電位
ク　シナプス　**ケ**　シナプス小胞　**コ**　受容体

問４　細胞体で発生した活動電位は，隣接する静止部との間に活動電流が流れることで新たな活動電位を発生させ，さらに隣接へと伝導していく。しかし，活動電位が発生した部位は直後に新たな活動電位を生じない不応期となるため，細胞体で発生した活動電位は軸索内を逆流できず，一方向性を保って伝導されることになる。

問５　(a)　(く)　(b)　(あ)　(c)　(く)　(d)　(う)

問６　(e)　(こ)　(f)　(そ)　(g)　(せ)　(h)　(け)　(i)　(そ)　(j)　(せ)

第２講

(A)

問１　チャネルは Na^+ を濃度差に従って細胞内へ輸送させる。ポンプは ATP を利用して Na^+ を濃度差に逆らって細胞外へ輸送させ，細胞外の Na^+ 濃度を高く，細胞内の Na^+ 濃度を低く保つ。

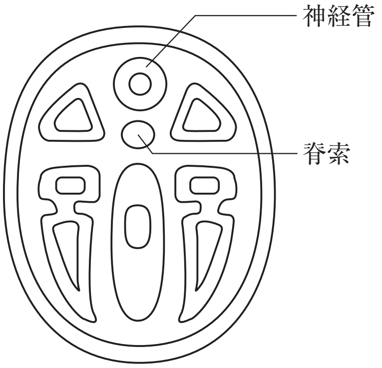
問２　チャネルロドプシンは，光の波長によって吸光度が異なり，吸光度が高い波長の光では閾値をこえるため活動電位が生じるが，吸光度が低い波長の光では閾値をこえないため活動電位は生じない。

問３　(う)，(か)

(B)

問４　a：脊索，神経管

b：下図



問５　背側中軸構造の形成のためには，内部細胞質に対する表層細胞質の回転が必要であり，植物極側の表層細胞質が回転した方向に背側中軸構造が形成される。

問６　表層回転による背腹軸の決定は，受精後 65 分の段階では未確定だが，100 分の段階では確定している。

問７　受精後 80 ～ 90 分までに精子侵入に伴う表層回転によって１本目の胚軸が決定した。また，植物極付近の表層細胞がまだ背腹軸を決定する能力を有していたため，卵を傾けることで生じた表層回転によって移動した先でもう１本の胚軸が決定した。

問８　a・d

第３講

(A)

問１　**ア**　劣性　　**イ**　優性　　**ウ**　ヘテロ　　**エ**　ホモ

問２　$\frac{1}{8}$

(B)

問３　**オ**　A2　　**カ**　A1　　**キ**　A1　　**ク**　A1　　**ケ**　A1　　**コ**　A1

問４　**サ**　B1　　**シ**　C2　　**ス**　E2　　**セ**　F1

　　　ソ　B2　　**タ**　C1　　**チ**　E1　　**ツ**　F2

問５　3.3×10%

問６　（マーカー遺伝子）Ｅ　（相同染色体）Ｐ

劣性形質である遺伝病Ｘを発症している個体は，原因遺伝子のホモ接合体となっており，その原因遺伝子の近傍にあるマーカー遺伝子もホモ接合である可能性が高い。**表１**から，遺伝病Ｘを発症している子ウシに共通であり，かつ，マーカー遺伝子がホモ接合になっているのはE2のみであることから，遺伝病Ｘの原因遺伝子の遺伝子座はマーカー遺伝子Ｅと完全に連鎖しており，この原因遺伝子は相同染色体Ｐに存在していたと予測される。

第４講

(A)

問１　化学物質Ｑを与えた個体の体細胞の一部に突然変異が生じても，個体の表現型までは変化しない。生殖細胞に突然変異が生じた場合は，それを受け継いだ子孫の全身の体細胞が変異遺伝子を持つことになるため，表現型の変化として顕在化する。

問２　優性の突然変異が生じた系統では，生殖細胞を介してその変異を受け継いだ第一世代で表現型に現れるのに対して，劣性の突然変異が生じた系統では，変異を受け継いだ第二世代同士でかけあわせた第三世代ではじめて表現型に現れる。

問３　（アミノ酸）トリプトファン

化学物質ＱがあるとDNAのＧ－Ｃ塩基対がＡ－Ｔ塩基対に変化する突然変異が起こる。その結果，トリプトファンを指定するコドンのUGGが終止コドンであるUAGまたはUGAに変化したと考えられる。

別解　（アミノ酸，コドン，終止コドンの順に，次のように置き換えたもの）

グルタミン，CAA，UAA

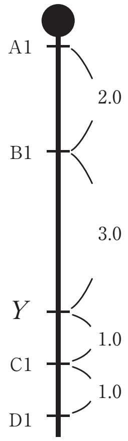
グルタミン，CAG，UAG

アルギニン，CGA，UGA

(B)

問４　Ａ－Ｂ間　2.0%　　Ｂ－Ｃ間　4.0%　　Ｃ－Ｄ間　1.0%

問５



(C)

問６　欠失，重複，転座

問７　**ア**　B1　　**イ**　C2　　**ウ**　C1　　**エ**　B2　　**オ**　A2　　**カ**　D2

問８　動原体は染色体分配において重要なはたらきを担っており，逆位部分で乗換えが起きて生じた２つの動原体をもつ染色体と動原体を１つももたない染色体では，減数分裂が正常に進行できない。そのため，そのような染色体を受け継いだ配偶子は形成されず，結果として，そのような染色体を受け継いだ産子も生じない。

第５講

(A)

問１　リガーゼによって環状 DNA に連結されたものが，制限酵素の働きで再び元の線状の DNA 断片に戻ってしまう。

問２　制限酵素 Y で **q－r** を切断すると，宿主細胞の DNA 断片を塩基配列の分かっているプロウイルスの DNA 断片で挟むことになり，プライマーを結合させて PCR 法を用いて増殖させるのに都合がよくなるため。

問３　240 塩基対

問４　放射性同位体で標識したヌクレオチドを用いて PCR を行い放射活性を示す挿入場所付近の塩基配列を持った増幅産物を得る。それらを一本鎖にした宿主細胞の DNA と結合させることで染色体上の位置を特定する。

(B)

問５　**ア**　受動輸送　　**イ**　1.5

問６　阻害剤 A はグルコース輸送体のグルコースとの結合部位に結合することで，グルコース輸送体によるグルコースの輸送を競争的に阻害する。

問７　(う)

問８　(1)　ガン細胞では，グルコース輸送体の遺伝子について，１遺伝子座あたりの発現量が増加することで，膜上のグルコース輸送体量が 10 倍に増加していると考えられる。

(2)　異常細胞と正常細胞のグルコース輸送体の mRNA の量を比較して，異常細胞のほうが多いかどうかを調べる。

第６講

問１　a

理由…連続した分布をもつ伝令 RNA から逆転写酵素により合成された相補的な DNA には，鋳型となった伝令 RNA の長さも反映されているため，同様に連続した分布をもつ DNA となる。

問２　(ウ)，(キ)

問３　がん細胞は遺伝子 H と遺伝子 H_A のヘテロ接合体と考えられ，それぞれの遺伝子座から同程度の転写が行われたため。

問４　タンパク質Ｉ

理由…タンパク質Ｉと結合できる H_A や H_{AB} の遺伝子を発現プラスミドで導入したテスト細胞でのみタンパク質Ｍのリン酸化が促進されているため。

問５　タンパク質 H_A がタンパク質Ｉと結合するとタンパク質Ｍのリン酸化が促進され，タンパク質 H_A とタンパク質Ｊが結合すると細胞集塊の形成が促進される。したがって，タンパク質 H_{AB} と H_{AC} が同時に発現すればタンパク質 H_A と同様に細胞集塊の形成が促進される。

問６　タンパク質Ｍのリン酸化は正常細胞の増殖にも必要であり，薬剤Ｚを用いることによってリン酸化が阻害されると，がん細胞だけでなく正常細胞の増殖も抑えられてしまう。

第7講

(A)

問1　**ア**　NADPH　**イ**　H^+　**ウ**　カルビン・ベンソン

問2　水の分解によって酸素と水素イオンと電子が生じ，その電子を受け取ることで反応中心クロロフィルが元の状態に戻る。

問3　低温（強光）

問4　反応中心当たりのクロロフィル量が少なくなると，光合成にとって適切な条件であっても光エネルギーを十分に受け取れない。そのため，ATPやNADPHを十分に合成できず，CO_2固定速度が低下する。

問5　クロロフィルには窒素などの成分が含まれている。葉が落ちる前にクロロフィルを分解することでそれらの成分を回収し，他の器官に運ぶことで再利用する。

(B)

問6　(g)

問7　(c)

問8　(e)

問9　(い)，(お)，(か)，(き)

第 8 講

(A)

問１　（光独立栄養条件）ミドリムシＢ　（従属栄養条件）ミドリムシＡ

問２　10 時間

問３　（より浅い場所）ミドリムシＢ　（より深い場所）ミドリムシＡ

理由…富栄養湖は透明度が低く，深くなるとすぐに暗くなる。より浅い場所は光独立栄養条件であり，この場合ミドリムシＢの方が増殖速度が大きい。一方，より深い場所は光が届きにくい従属栄養条件であり，この場合ミドリムシＡの方が増殖速度が大きい。

問４　乳酸やグルタミン酸を除去し，クロレラの光合成速度がミドリムシの光合成速度を上回る範囲の光強度が弱い環境で培養する。

(B)

問５　光量が少なく，水温が低い初春でも増殖できる種で，また，多くの無機養分を利用して増殖する種であると考えられる。

問６　動物プランクトンは植物プランクトンを捕食して従属栄養生活を行うため，植物プランクトンの増減に対して少し遅れて同様な増減をくり返す。

問７　夏期は天敵による被食が多くなるので，その分増殖速度が速い種が優占すると考えられる。また，水温が高く光量が十分にあり無機塩類の少ない環境でも増殖することができる種が優占すると考えられる。

問８　高くなる

理由…動物プランクトンは主に植物プランクトンを捕食する。小魚が大量に増えると，動物プランクトンが大量に捕食され減少してしまうため，植物プランクトンの被食量が減少し，その結果，植物プランクトン密度は高くなる。

第９講

問１　Ｂ種

根拠…Ａ種とＢ種ではＢ種のほうが光補償点が低いため，照度の低くなった林床でもＢ種の芽生えは生存できる。その結果，Ｂ種のほうが安定的な極相林を形成しやすい。

問２　陽樹の方が光飽和点が高く，強い光のもとでより大きな光合成速度を示すため，ギャップでは陽樹の芽生えが速やかに成長する。

（別解）

陽樹の種子は暗い林床では発芽が抑制されるが，光条件が改善され光が当たるようになると発芽が促進される。

問３　水面付近で植物プランクトンが増加すると透明度が低下し，沈水植物へ充分な光が届かなくなり生育できなくなる。

問４　N4

問５　貧栄養湖から富栄養湖に移行すると，植物プランクトンと沈水植物の塩類を巡る競争が緩和されるため，光を巡る競争により有利な植物プランクトンが優占する。植物プランクトンが増加することによって透明度が下がることは沈水植物にとってより不利な環境となるため，植物プランクトンが優占する状態への変化が急激に起こる。

問６　植物プランクトンが優占している富栄養湖では，沈水植物は大きく減少しているため塩類の吸収能力が低下している。そのため N4 まで流入塩類量が減少しても植物プランクトンの光に対する優位性をくつがえせるほど増殖できず，N2 まで減少してようやく沈水植物の方が優占した状態へと移行できる。

第10講

(A)

問１　収束進化（収れん）

問２　（短花柱花）Aa　　（長花柱花）aa

問３　周囲の宅地化に伴ってマルハナバチが消失し，花粉の媒介ができなくなり短花柱花や長花柱花の結実率が減少したため，それらの個体数が減少していった。また，自家受精できる等花柱花はマルハナバチの消失による結実率の減少が見られないため，個体数を増加させ，田島ヶ原のサクラソウ集団では等花柱花の形成に関する対立遺伝子が集団に広まると考えられる。

(B)

問４　近交弱勢

問５　巣内の個体は血縁関係にあり，自身の遺伝子を残さなくても，王や女王を助けて兄弟や姉妹を増やすことで，間接的に自己の遺伝子を次代に残すことができる。そのため，血縁者間の協力行動が進化し得る。

問６　CC，DD

仕組み…n の卵が染色体の倍加によって $2n$ の状態になり，さらに単為発生して生じた個体は副女王となるが，精子と卵の受精により生じた個体はワーカーとなる。

問７　AA，AB，BB